

【特許請求の範囲】

【請求項1】 アレイアンテナにおいて、

第一セラミック層及び第二セラミック層と；上記第一セラミック層及び第二セラミック層間に配置された金属層と；上記第一セラミック層上に搭載された複数の放射素子と；上記第二セラミック層上に搭載され、上記金属層を通して給電する複数の導電性バイアを介して放射素子に結合された複数の制御回路と；を備えるアレイアンテナ。

【請求項2】 金属層の頂部に積まれた複数のセラミック層内で形成された導波管において：一对の上記セラミック層間で配置された頂部金属壁と；他の対の上記セラミック層間で配置された底部金属壁と；上記頂部金属壁を上記底部金属壁に接続する為に、頂部金属壁および底部金属壁間のセラミック層の一つを通して伸びる第一導電性バイアにより画成された第一側壁と；上記頂部金属壁を上記底部金属壁に接続する為に、上記頂部金属壁および上記底部金属壁間のセラミック層の一つを通して伸びる第二導電性バイアにより画成された第二側壁と；を備える導波管。

【請求項3】 アンテナにおいて：第一セラミック層及び第二セラミック層と；第一セラミック層および第二セラミック層間に配置された金属層と；第一セラミック層上に搭載された複数の放射素子と；上記第二セラミック層上に搭載され、上記金属層を通して伸びる複数の導電性バイアを介して放射素子に結合された複数の制御回路と；上記第一セラミック層を埋め込み、信号を上記放射素子に発送する為に上記金属層を通して伸びる導電性バイアを介して上記放射素子に結合された導波管と；とを備えるアンテナ。

【請求項4】 配電の為に複数のセラミック層内に形成された導波管であって、上記セラミック層の平面内で少なくとも2つの別個の矩形部分に分岐する上記セラミック層の一つの中で形成された矩形部を有する、導波管。

【請求項5】 アレイアンテナであって：内部に埋め込まれた第一供給素子を有する第一セラミック層と；内部に埋め込まれた第二供給素子を有する第二セラミック層と；上記第一セラミック層の反対側にある上記第二セラミック層の近傍に配置された放射素子と；上記第一セラミック層および第二セラミック層間に配置された第一接地面と；上記第二セラミック層および上記放射素子間に配置された第二接地面と；上記第一供給素子を上記放射素子に結合する為に、上記第一接地面及び上記第二接地面を通して給電する第一シールド同軸伝送ラインと；上記第二供給素子を上記放射素子に結合する為に、上記第二接地面を通して給電する第二シールド同軸伝送ラインと；を備えるアレイアンテナ。

【請求項6】 金属層の頂部に積まれた複数のセラミック層内に形成されたスイッチであって：セラミック層の第一対間に配置された第一部分と、上記セラミック層内

に形成されたキャビティ内に伸びる第二部分とを有する第一電極と；上記セラミック層の第二対間に配置された固定部分と、上記第一電極に係合する為に、上記キャビティ内に伸び、その中で移動可能な可動部分と、を有する第二電極と；を備えるスイッチ。

【請求項7】 金属層の頂部に積まれた複数のセラミック層内でスイッチを作る方法であって：金属層を堆積する工程と；上記金属層の頂部に第一セラミック層を堆積する工程と；上記セラミック層の頂部に励振パッドを堆積する工程と；励振パッドの頂部および上記セラミック層の頂部に第二セラミック層を堆積する工程と；上記第二セラミック層の頂部に第一金属パッチと、上記励振パッドに近接した第二金属パッチとを堆積する工程と；上記第一金属パッチと上記第二金属パッチと上記第二セラミック層の頂上に第三セラミック層を堆積する工程と；上記第二金属パッチの一部が上記キャビティ内に伸び第一電極を画成するように上記第三セラミック層内にキャビティを形成する工程と；上記キャビティの壁に沿って上記第一金属パッチから垂直に伸びる起立部を形成する工程と；上記第一電極に係合する為に上記キャビティ内で移動可能な上記第二電極のヒンジ部になっている上記第三金属パッチの一端を、上記第一金属パッチの反対側にある上記起立部の一端に取り付けて第二電極を画成する工程と；を備える方法。

【請求項8】 アンテナであって：金属ベース層と；上記金属ベース層の頂部に積まれた第一セラミック層と；上記セラミック層の頂部に積まれた接地面と；上記接地面の頂部に積まれた第二セラミック層と；上記第二セラミック層の頂部に搭載された複数の放射素子と；上記第二セラミック層及び上記放射素子の頂部に積まれた第三セラミック層と；上記第三セラミック層の頂部に搭載された複数の寄生放射素子であって、各寄生放射素子は、それぞれの放射素子に近接して対になっており、上記対が容量結合されている、前記複数の寄生放射素子と；を備えるアンテナ。

【請求項9】 平面アンテナであって：金属ベース層と；上記金属ベース層の頂部に堆積された第一セラミック層と；上記第一セラミック層の頂部に堆積された第一接地面と；上記接地面の頂部に堆積された第二セラミック層と；上記第二セラミック層の頂部に堆積された第二接地面と；上記第二接地面の頂部に搭載された複数の第三セラミック層と；上記第三セラミック層の頂部に搭載された複数の放射素子と；第一分極を有する信号を上記放射素子に供給する為に、上記第一接地面及び上記第二接地面を通して伸びた複数のバイアを介して上記放射素子に結合され、上記第一セラミック層内に埋め込まれた第一配電網と；第二分極を有する信号を上記放射素子に供給する為に、上記第二接地面を通して伸びた複数のバイアを介して上記放射素子に結合され、上記第二セラミック層内に埋め込まれた第二配電網と；を備え、

上記放射素子によって供給された放射信号は、上記第一信号及び上記第二信号を大きさで制御することにより分極で制御される、平面アンテナ。

【発明の詳細な説明】

【0001】本願は、1998年8月7日に提出された出願番号第60/095,689号の米国仮出願の利益を主張する。

【0002】

【発明の分野】本発明は、全体的にアンテナに関し、特に多層セラミック基板を使って形成されたアンテナに関する。

【0003】

【発明の背景】アンテナは、最も近代的な通信及びレーダーシステムの本質的構成要素になった。これらアンテナの1つの利益は、これらのシステムで要求されるように、それらの電波が容易にスキャン或いは再構成されるという能力である。これらアンテナの他の利益は、同時に1つ以上のビームを生成する能力である。

【0004】動作周波数が増すと、アレイアンテナは、小さなデバイスとして構成されるのが望ましい。これは、アンテナ内の放射素子間の必要間隔が典型的に波長の関数になっているからである。そのため、これらのアンテナをコンパクトに作ることに強い技術的誘因が存在する。

【0005】近代的なサテライト・サービスにおいて、各サービスは、一般に、異なる周波数範囲、異なる分極、異なる空間配分をカバーしている。消費者は、各サービスにアクセスするために異なるアンテナを使わなければならないということなく、これらの異なるサービスを呼ぶ出す (addressing) ことに関心がある。

【0006】いろいろなサービスと通信することができる単一アンテナ設計に対する従来の解決法は、モノリシックマイクロ波集積回路 (MIMIC) を典型的に用いた、高価な位相シフターの使用を伴う。そのため、特に、新たに発展しているミリメートル波LMSとサテライト・サービスにおいては、大きさとコストを最小限にするため、強い商業上の誘因も存在する。

【0007】しかし、位相アレイアンテナが小さくなるにつれて、これらのデバイスを駆動する為に必要な動力を発生させ、配電し、制御することがより難しくなる。

【0008】近代的通信システムによってアンテナに課せられる大きさの制約に加えて、より高周波システムでは、低損失の配電技術の開発が必要である。車両及び軍のレーダーと、様々なタイプの通信システムのようなミリメートル波範囲内の多くのRFシステムは、高い効率と感度を維持するため、最小限の減衰でRF信号を分配し収集することを必要とする。しかし、従来の配電技術は、効率、感度、減衰の間の望ましいバランスを妨げる問題を伴う。

【0009】平面アンテナは、埋込み供給型ネットワーク (a buried feed network) からアンテナ表面に装着

された放射素子までEM結合を歴史的に使用してきたので、設計が非常に難しいことが知られていた。特に、EM波は導く (direct) のが難しく、エネルギーは様々な方向に漏れ、供給型ネットワークと放射素子間の隔離が弱くなる。異なる分極を有する多重信号が放射素子に供給され、各分極がマルチレベルの状況でそれ自身の供給型ネットワークを持つ場合、問題のシナリオは折り合いが付けられる。

【0010】

【発明の概要】本発明の一態様によると、アレイアンテナは第一セラミック層と第二セラミック層を含む。金属層は、第一及び第二のセラミック層の間で配置される。複数の放射素子は第一セラミック層上で装着され、複数の制御回路は第二のセラミック層の上で装着される。金属層又は他の手段を通して給電される複数の伝導性バイア (vias) を通して、制御回路は放射素子に接続されている。

【0011】金属コア層は、重要な幾つかの機能に役立つ。金属コア層は、機械的な強度と構造上の支持を与える。それに加えて、金属コア層は、電気的なシールドと接地を提供することができる。金属コア層も、発熱の効率的な拡張のため、本質的には内蔵ヒートシンクであるので、熱管理を提供する。

【0012】燃焼中、金属コア層は、アンテナが形づくられる構造平面で、最小量 (数) の収縮の準備をする。金属コア層も、アンテナが形づくられる構造平面に対し垂直方向に限定された、よく計算された収縮の準備をする。セラミックの多層の機械的安定度は、プロセッシングを通して維持され、高密度回路が層間で良好な重合せでセラミックの広い領域にわたって遮蔽されるのを許容する。バイアは正確に位置され、きつい許容範囲をもつ導体パターンは広領域ボードにわたり形成される可能性がある。

【0013】本発明の他の態様によると、アンテナは第二のセラミック層の中で形成されて、一つ以上の導電性バイアを通して放射素子の内の1つに結合する複数極を有するスイッチを含んでもよい。それに加えて、複数の位相遅延素子が、信号源に第一端部で結合され、上記スイッチのそれぞれの複数極に第二端部で結合されてもよい。複数の位相遅延素子は、それぞれの位相遅延信号を提供してもよく、その場合、位相遅延信号の選ばれた一つを放射素子に印加するため、スイッチが動作する。

【0014】本発明の他の態様によると、導波管は金属層の最上部の上で積まれる複数のセラミック層の範囲内で形成される。導波管は、セラミック層の平面で、少なくとも2つの部分に分岐して形成してもよい。

【0015】本発明の他の態様によると、アレイアンテナは、そこに埋め込まれた第一供給素子を有する第一セラミック層と、そこに埋め込まれた第二供給素子を有す

る第二セラミック層とを含む。放射素子は、第一セラミック層の反対側にある第二セラミック層の近傍に配置される。第一の接地面は第一及び第二のセラミック層の間で配置され、第二の接地面は第二セラミック層と放射素子の間で配置される。第一シールド同軸伝送ラインは、第一供給素子を放射素子に結合する為に第一及び第二接地面を介して供給し、第二シールド同軸伝送ラインは、第二供給素子を放射素子に結合する為に第二接地面を介して供給する。

【0016】本発明の他の態様によると、機械式のスイッチは、金属層の最上部の上で積まれる複数のセラミック層で形成される。第一電極は、第一部分をセラミック層の最初の対の間で配置された第一部分を有し、第二の部分は、セラミック層内に形成されたキャビティに延びる。第二電極は、セラミック層の二番目の対と、第一電極に係合する為にキャビティ内に延び内部で移動可能な可動部分との間に配置された固定部分を有する。

【0017】本発明の他の態様によると、アンテナは金属ベース層と、金属ベース層の最上部上で配置される第一セラミック層と、第一セラミック層の最上部上で配置される第一接地面を含む。第二セラミック層は接地面の最上部上に配置され、第二接地面は第二セラミック層の最上部上に配置され、第三セラミック層は第二接地面の最上部上に配置される。複数の放射素子は、第三セラミック層の最上部上に装着される。第一分散ネットワークは、第一セラミック層に埋め込まれると共に複数のバイアを介して放射素子に結合され、これらのバイアは第一及び第二接地面を通して給電され、放射素子に対し第1分極を有する第1信号を与える。第二分散ネットワークは、第二セラミック層に埋め込まれると共に複数のバイアを通して放射素子に結合され、これらのバイアは第一接地面及び第二接地面を通して給電され、放射素子に対し第1分極を有する第1信号を与える。放射素子によって提供される放出された信号は、大きさで第一信号及び第二信号を制御することによって極性と位相において制御してもよい。

【0018】本発明に従って構成されたアンテナの多層能力は、構成部品間の長さが短いコンパクトな構造設計を許容し、その結果、損失の少ない良好な全体性能を生じる。

【0019】前述の概要と次の詳細な記述は例示的であり、当該発明を限定するものでない、ということが理解される。

【0020】

【詳細な発明説明】以下の説明は、図解用に選択された本発明の幾つかの実施例を説明する為に意図されたことが認識されるであろう。説明された実施例は、本発明を限定することが意図されたものではなく、本発明は添付クレームにて別個に規定される。いろいろな図面は、いかなる特別な縮尺も比例も意図されていない。だが、図

面は発明の特徴を強調するために変形している。

【0021】従来のアンテナと関連する多くの問題は、アンテナが内部に構成される基板を形成する為に「Low-Temperature Co-fired Ceramic on Metal」(LTCC-M)技術を使って避けられる。典型的なLTCC-M構造は、金属コア層の片側又は両側に堆積された少なくとも1つのセラミック層及び金属コア層を含む。

【0022】チタンのような他の材料が代用できるけれども、Cu/Mo/Cu金属複合材はセラミック層に対し強いボンディングを提供するので、金属コア層はCu/Mo/Cu金属複合材であってもよい。開口またはバイアは、レーザ又は機械的な穿孔装置を用いて金属コア内で形成される。金属コアにおけるバイアは、ばり取りがなされ、ニッケルでメッキされることが好ましい。

【0023】金属コア層のどちら側にも堆積されるセラミック層は、誘電体ガラス層であるのが好ましい。多かれ少なかれガラス層が片側又は両側に形成されるが、典型的には、少なくとも1つの誘電体ガラス層が金属コア層の両側に形成される。セラミックスと金属の電子特性は、高周波動作にふさわしい。

【0024】LTCC-M技術に関する付随的情報は、「Method of Minimizing Lateral Shrinkage in a Co-fired Ceramic-on-Metal Circuit Board」と称されるアメリカ特許第5,277,724号にて見つけることができるが、この内容は、参照形式で本願に導入される。

【0025】図1は、本発明の例示の実施例による、LTCC-M構造を備えて実施される一体型アレイアンテナ100を図示する。アレイアンテナ100は、金属コア層104の片側に搭載された第一セラミック層102と、金属コア層104の反対側に搭載された第二セラミック層106とを含む。実装された表面実装部品130、108は、第二セラミック層106に取り付けられている。前述したように第一セラミック層102と第二セラミック層106は、各々が単一のセラミック層又は積み重ねられたセラミック層であることが可能である。

【0026】比較的に高周波(例えばRF)の回路は、第一セラミック層102に搭載されるのが好ましい。比較的に低い周波数の信号で動作する回路、例えば制御回路108は、第二セラミック層106上に搭載される。アレイアンテナ100の低い周波数回路は、第二セラミック層106に埋め込まれた印刷受動素子109導体111をも含んでもよい。このように、比較的に低い周波数回路が反対側112に対し分離されているのに対して、比較的高周波回路は、金属コア層104の片側110に対し分離されている。

【0027】図1において、複数の放射素子114は、金属コア層104の高周波の側面110上に搭載されている。放射素子114は、図1において実質的に円形金属パッチとして示されており、そのようなラジエーターは、本発明の範囲内に意図されているように、導電性シ

ート内、或いは他の材料の開口として、形成されてもよい。放射素子114は、高周波数集積回路116により提供されるRF信号のように、高周波信号によって駆動される。

【0028】図1において、金属コア層104を通して給電する複数の導電性バイア118を通して、制御回路108は放射素子114に結合される。導電性バイア118は、他の導電材料が使用されてもよいが、銀で充填されるのが好ましい。構造体の低い周波数側部112から高周波側部110に、導電性バイア118は信号及び電圧を発送する。金属基板104は、互いに絶縁されるのが望ましいLTCC-M構造の部分間でシールドを提供する。

【0029】一つ以上のシールドバイア119は、第1セラミック層102内に形成され、第一セラミック層の部分互いに保護することが可能である。その上、複数のシールドバイア120は、第二のセラミック層106内に形成され、第二のセラミック層106間の干渉を最小限にすることが可能である。

【0030】アレイアンテナ100の一部として含まれた、配電網（図示せず）、例えば図2Aを参照して後述される動力分割装置は、第一セラミック層102に埋め込まれてもよい。配電網は、導電性バイアを介して電源と放射素子114間で結合されてもよく、適切な振幅及び位相で各放射素子に電力が分配されてもよい。

【0031】図1において、金属被覆表面を有し、カバー（図示せず）をアレイアンテナ100の高周波側110に取り付けることが望ましい、一対のシールド壁122は、金属コア層104から離れる方向に第1層102から隆起している。シールド壁122は、シールドチャンネル124を規定し、それは、シールド壁122により放射素子114から電磁的に隔離されている。ディスクリット回路部品（受動及び能動）は、放射素子114からの隔離の為にシールドチャンネル124内に置かれてもよい。例えば、高周波集積回路116、様々なトランジスタ、他の集積回路は、シールドチャンネル124内に置かれてもよい。磁石126のような受動部品も、シールドチャンネル124内に置かれてもよい。抵抗やコンデンサのような他の回路素子は、アンテナ100内の空洞や他のチャンネル上に搭載または埋め込まれてもよい。

【0032】図1においても、フェライト層128は、セラミック基板の金属コア層104と第一層102間に配置され、例えばサーキュレーターやアイソレータのような部品の実現を許容する。例えば、サーキュレーターは、幾つかの接続されたストリップラインを備えたプリント共振器としてマイクロストリップ形式で実行されてもよい。サーキュレーターの片側又は両側に、1つ以上の磁石があってもよい。これらの磁石は、第一セラミック層102の表面又は内部に形成された空洞内に置くことが可能である。複数の誘電体セラミック層が高周波の

側面110上に形成されたなら、これらの誘電体セラミック層間でフェライト層は散在することができる。

【0033】アレイアンテナ100の特徴は、高誘電率でセラミック層を使う柔軟性と、スイッチのようなMEM（micro-electro-mechanical）部品を形成する能力を含む。超小型電子スイッチは、図9A-図9Dを参照して以下に詳細に記載される。これらのスイッチは、例えば、第二セラミック層106内で形成され、導電性バイアを介して一つ又はそれ以上の放射素子114に結合されてもよい。導波管は、アレイアンテナ100の高周波側110に形成され、低い電力損失で放射素子114にRFまたは他の高い周波信号を送ってもよい。本発明による例示的導波管は、図2A、図2B、図2Cを参照して後述される。

【0034】アレイアンテナ100の多くの適用の1つは、双方向通信のために送信線と受信線を提供するユニットである。典型的に、送信線と受信アレイは、異なる周波数帯で動作する。このように、アレイアンテナ100は2つのサブアレイを有するように設計され、一つは送信器を扱い、一つは受信器を扱う。また、より広いアレイは、本質的に「タイル」パターンにおける図1のアンテナのような、複数のLTCC-Mボードを置くことにより設計することも可能である。複数のLTCC-Mタイルは、必要に応じて、より広いアンテナを作る為に結合し得る。いろいろなボードは、片側又は両側に導体パターン及び複数のセラミック層を持ち得る。

【0035】図2Aは、LTCC-M構造で使用される、電力分割器またはコンバイナー構造として形成された典型的な導波管200を例示的に示す。導波管200は、図1のアレイアンテナ100のような、位相アレイアンテナを一体的に備えるのに特に適する。導波管への送り出しは、一体化されたE平面プローブで簡単に達成できる。

【0036】導波管200は、LTCC-M構造内で低損失の高周波RF配電を与える。そのような最小限損失での配電は、ミリメートル波範囲内で動作するRF通信システムのような高周波技術に対して望ましい。配電網における損失は、特に、そのような高周波信号が生成され、それらが放射される地点間では最小限にされる。図2Aの導波管構造内の損失は、当該構造にセラミックを充填することに関連する損失というより、主に抵抗の金属損失である。

【0037】図2Aにおいて、導波管200は最上部金属壁202と底部金属壁204を含む。金属隔壁202、204は、広い金属ストリップとしてアレイアンテナ100の高周波側110のような、LTCC-M構造の片側のセラミック層間でプリントされるのが望ましい。図2Aの導波管200は、電力分割器または混合器として構成され、根本的な「Y」形状を有する。一端で、導波管は一つの長方形部分206の形をしている。導波管200の長さに沿って、この一つの長方形部分は、少なくとも

も2つの別個の長方形部分208、210に分岐する。

【0038】導波管200は、一つ以上のセラミック層内で埋め込まれるのが好ましい。これらのセラミック層は、図1におけるアレイアンテナのような、アンテナとして構成されたLTCC-M構造内で金属コア層の片側で積まれてもよい。導波管200の一端は高周波回路116に結合されてもよいが、導波管200の他端はアレイアンテナ100の放射素子114に結合される。このように、導波管200は、高周波回路116と放射素子114との間で配電するように構成される。

【0039】図2Bは、2A-2A線に沿った導波管200の一端206からの、図2Aにおける導波管200の一側面図である。図2Bの図では、導波管200は、金属ベース層214の頂部に積まれた複数のセラミック層212内に形成されている。図1の位相アレイアンテナ100内に導波管200を形成する際、導波管は1又はそれ以上のセラミック層内で、金属コア層104の高周波側110に埋め込まれ、導電性バイアを介して放射素子114に結合され、シールドチャネル124内に搭載されたコンポーネント116により供給された信号を送送する。また、導波管壁の孔は、放射素子114を導波管200に結合する為に使用されてもよい。

【0040】線2B-2Bに沿って図2Aの導波管200を見ると、円筒状の柱のように形作られた、最初の複数の導電性バイア216は、導波管200側に、頂部金属壁202及び底部金属壁204の周辺の少なくとも一部に沿って均等に分布されている。図2B及び図2Cで示されるように、一連の導電性バイア216の各々は、間に配置されたセラミック層212を介して頂部金属壁202と底部金属壁を接続する。

【0041】第2の複数の導電性バイア218は、図2Bに示されるように、導波管の他方側に同様に形成され、第3の複数の導電性バイア220は、図2Aに示されるように、導波管200の分岐された領域の凹んだ部分に同様に形成されている。このように、個別的な一連の不連続側壁は、導波管200のほぼ周辺に形成されており、より少ない導波管の開口207、209、211が形成されている。図2Bで示されるように、側壁導電性バイア216、218、220は、広い金属壁202、204に関して比較的に狭くなっている。

【0042】図2A、図2B、図2Cに図示されるように、第一側壁導体ストリップバイア224は、第一導電性バイア216の間に介在され、第二側壁導体ストリップ226は、同様に、第二導電性バイア218の間に形成されている。図2Aに示されるように、導波管200の分岐領域222における凹部222内に位置決めする為に形成された、第三側壁導体ストリップ228は、その領域内の第三導電性バイア220の間に介在されている。

【0043】導波管200の動作の一例において、電流

は優勢なTE₁₀という伝搬モードで導波管200の開口207に向けられる。電流は、(導電性バイア216、218で面成された)導波管の広い壁202、204と狭い壁に流れるが、導波管200の狭い壁の電流は、垂直要素だけを有する。このように、電界は導波管の広い壁の間で、垂直に横切る。不連続バイア216、218は、この垂直電流が維持されることを許容する。

【0044】図3は、平面アンテナ300として構成されたLTCC-M構造を図示する。平面アンテナ300は、軍用及び商用受信器適用の両方で見い出せるような低電力、高周波システムの一体化に適している。

【0045】平面アンテナ300は、金属ベース層302を含む複数の層を有する。第一セラミック層304は金属ベース層302の頂部に積まれ、接地面306は第一セラミック層304の頂部に積まれ、第二セラミック層308は接地面306の頂部に積まれる。複数の放射素子310は、第二セラミック層308の頂部に搭載されている。図1のようなLTCC-M構造内に図5の平面アンテナが形成される場合、金属ベース層302は、金属コア層104に対応することが可能であり、付随的セラミック層、接地面306、放射素子310は、全て、LTCC-M構造の高周波側110に積んでもよい。

【0046】図3において、配電網312は、第一セラミック層304内に埋め込まれ、接地面306を通過して給電する複数の導電性バイア314を通じて放射素子310に結合されている。配電網312は、高密度フィード構造であるのが望ましく、それを介して、いろいろな分極の信号が送信されてもよい。双極を供給するように構成された本発明の他の実施例は、図6を参照して、後述する。図3において、第一セラミック層304は、配電網312を介して高周波信号を伝搬する為に高い誘電率を持つのが好ましい。第二のセラミック層308は、平面アンテナ300の広帯域動作を許容する為に、第一セラミック層304に関し比較的に低い誘電率を持つのが好ましい。

【0047】図3において、接地面306によりシールドされるか否かに拘わらず、導電性バイア314により放射素子310に配電網312が直接接続されていることは、従来の平面アンテナにとって都合の良いことである。LTCC-M技術を用いて形成された平面アンテナは、広帯域送受信、最小限の絶縁漏れ(もしあれば)、少ない表面波励起を有し、設計及び一体化のコストを減少した。

【0048】図4は、本発明の例示的实施例により形成された、多層平面アンテナ400の他の構成を図示する。アンテナ400は、幾つかの点で図3の平面アンテナ300に類似する、多層構造を示す。平面アンテナ400は、例えば、アンテナ100の金属コア層104に対応した金属ベース層402を備えた、アレイアンテナ100の高周波側110のようなLTCC-M構造の一つの側

面上に形成してもよい。

【0049】図4において、第一セラミック層404は金属ベース層402の頂部上に積まれ、高密度ストリップライン供給網のような配電網406は、第一セラミック層404に埋め込まれている。接地面408は、第一セラミック層404の頂部にプリントされ、第二のセラミック層410は、接地面408の頂部に積まれている。複数のシールドバイア412は、第一セラミック層404内に形成され、第一セラミック層404及び配電網406の一部を互いに隔離する。シールドバイア412も、接地面408を金属ベース層402に接続する機能を有し、それらの間に共通接地を提供する。

【0050】図4において、複数の放射素子414は、第二セラミック層410の頂部に搭載されている。配電網406のいろいろな供給素子406a、406bは、接地面408を貫通して延びた導電性バイア416、418を介して、放射素子414に結合されている。第三セラミック層420は、放射素子414の頂部と、放射素子414で覆われていない第二セラミック層410の一部に積まれている。複数の寄生放射素子422は、第三セラミック層420の頂部に搭載されている。各々の寄生放射素子422は、各放射素子414に接近しており、各放射素子414と対になっており、その対は容量結合されている。寄生放射素子422は、そうでなければアレイアンテナ400が動作可能であろう帯域を広げるように機能する。

【0051】図5は、本発明の例示的实施例による両側がLTCC-M構造として形成された平面アンテナ500を図示する。平面アンテナ500は、金属コア層504の片側に搭載された第一セラミック層と、金属コア層504の反対側に搭載された第二セラミック層506とを含む。好ましくは双極子がプリントされた複数の放射素子508は、第1層502に搭載されている。コンデンサや抵抗のような複数の個別回路部品509は、第二のセラミック層506に埋め込まれている。受動および能動の両方の他の回路素子は、必要に応じて、第二セラミック層506内に埋め込まれてもよい。

【0052】図5において、配電網510は、埋め込まれるというより、第二セラミック層506の表面に搭載されている。複数の増幅器512も、第二セラミック層506の表面に搭載されている。各々の増幅器512は、配電網510の供給素子と放射素子518との間を、金属コア層504を貫通して供給する導電性バイア514を介して結合されている。

【0053】図5の平面アンテナ500における表面配電網510は、高周波（例えば、RF、マイクロ波など）又は比較的低い周波数信号を通過させてもよい。いずれにせよ、増幅器は配電網510の供給素子からこれらの信号を受け取り、これらの信号を高電圧に直し、直された信号を、導電性バイア514を介して放射素子51

Sに渡す。

【0054】図6は、本発明の例示的实施例による、LTCC-M構造内で形成された双極化された放射素子600を図示する。アンテナ600は、金属ベース層602を含み、それは、アンテナ600が図1のLTCC-M構造内に形成されたなら金属コア層104に対応してもよい。第一セラミック層604は金属ベース層602の頂部に配置され、第一接地面606は第一セラミック層604の頂部に印刷されている。第二セラミック層608は第一接地面606の頂部に配置され、第二接地面610は第二セラミック層608の頂部に印刷されている。第三セラミック層612は第二接地面610の頂部に配置され、複数の放射素子614は第三セラミック層612の頂部に搭載されている。

【0055】図6において、第一配電網616は、第一セラミック層604に埋め込まれている。第一配電網616は、第一分極を有する第一信号を運ぶことができるストリップライン供給として構成されている。第一配電網616の供給構造の少なくとも一つは、第一接地面606及び第二接地面610を通過する導電性バイア618を介して放射素子614に結合されている。第二配電網620は、第二のセラミック層608に埋め込まれている。第二の分極を有する第二信号を運ぶことができるストリップライン供給として、第二配電網620が構成されている。第二接地面610を貫通する導電性バイア622を介して、第二配電網620の供給構造の少なくとも一つが放射素子614に結合されている。

【0056】図6において、第一接地面606は第一セラミック層604及び第二セラミック層610間にシールドを与え、そこを通過して送られる第一信号及び第二信号が互いに干渉しないように防止する。また、第二接地面610は、放射素子s614により生成される可能性がある望ましくない周波数やノイズから、第二接地面610下方のLTCC-M構造に埋め込まれる回路のためにシールドを提供する。

【0057】第一信号及び第二信号が第一セラミック層604及び第二セラミック層610を介して伝搬するとき、放射素子614は本質的に直接バイア接続618、622を介して、これらの信号を「傍受する」(tap)。このように、第一信号及び第二信号の極性及び振幅のそれぞれを制御することにより、配電網616、620の両方から放射素子614に提供された累積信号の極性を制御することが可能である。

【0058】図7A及び図7Bは、本発明の一実施例による、LTCC-M環境で形成された同軸伝送ライン700を図示する。特に、図7Aは同軸伝送ライン700の側面図、図7Bは図7Aにおける7B-7B線に沿って取り出された同軸伝送ラインの端面図である。

【0059】同軸伝送ライン700は、上記構成の導電性バイアの代替として可能な、LTCC-M構造における様

々な素子に伝導する能力を有する。伝送ライン700は、1又はそれ以上のセラミック層を介して配電網の供給構造に放射素子を相互に接続する為に特に良く適している。

【0060】図7Aにおいて、複数のセラミック層702a~702dは、例えば配電網の供給構造を表す金属パッド704の頂部に積まれている。放射素子706は、セラミック層702dの頂部に搭載されている。導電性バイアは、セラミック層702a~702dを介して形成され、同軸伝送ライン700の内部導体708を画成する。内部導体708は、セラミック層702a~702dを通して伸び、金属パッド704を放射素子706に結合する。

【0061】図7Aにおいて、複数の外部導電性バイアは、セラミック層702の一つを貫通して伸びている。図7Bに良好に示されるように、一連の外部導電性バイアは、互いに間隔が開けられており、内部導体708の回りに放射状に分布されている。複数の外部導電性バイアは、同軸伝送ライン700の不連続外部導体710を画成する。外部導体710と内部導体708は、金属パッド704と放射素子706間の直接EM結合を提供する為に協力する。

【0062】同軸ケーブル700を含めるようLTCC-M構造を形成する際、外部導体710に対する接地を提供する為、層702dがその上に積まれる前に、接地面703がセラミック層702cの頂部にプリントされるのが望ましい。接地面703は外部導電性バイアの各々と接触するように配置され、外部導電性バイアは、そのような導電性バイアがLTCC-M構造内に形成されるとき、伝送ライン700の外部導体710を画成する。製造中に僅かなミスアラインメントが生じるかもしれないが、接地面703は、外部導体710と内部導体708間の同軸伝送ライン700の中へと実質的に伸びないのが好ましい。接地面703も同様に、所望の接地を与えるため、セラミック層702b、702c間または層702a、702b間に配置されてもよい。

【0063】アンテナ構築の際、LTCC-M技術を使用することにより、異なる供給レベル間のスムーズかつ良好に調和した変換が用意できる。例えば、図6において、それぞれの埋め込まれた配電網616、620を備えた各セラミック層604、608は、異なる供給レベルを表示する。接地面606により提供されたシールドのため、各供給レベルは、他の供給レベルから最小限の干渉を有する別個の信号を渡すことが可能である。所定の放射素子が供給レベルの中の選択されたものを傍受し、これらの供給レベルを通過する信号を送信するという図6におけるもののよう、複数の供給レベルは、導電性バイアによる1又はそれ以上の放射素子に直接接続されてもよい。これらの直接接続をなす為の導電性バイアの使用は、それが低コストのパンチングを必要とし、設計が

容易で簡単であることから、幾つかの適用においては望ましい。また、図7A、図7Bで図示されるもののよう、異なる供給レベル間の交叉結合を防止するため、LTCC-M技術は、シールドされた同軸フィールドスルーを支えることができる。

【0064】図8は、本発明に従って作られた、二重位相アレイアンテナ800を図示する。図7A、図7Bを参照して上述されたもののような同軸伝送ラインは、いろいろな層間の接続を形成するのに使用される。

【0065】図8では、アンテナ800が、ベース接地面804の頂部に堆積された第一セラミック層802を含む。第一分散ネットワーク807の第一供給素子806は、セラミック層802内に埋め込まれている。第一接地面808は、第一セラミック層802の頂部にプリントされている。第二セラミック層810は、第一接地面808の頂部に配置され、そこに第二供給素子812が埋め込まれている。第二供給素子812は、第二分散ネットワーク809の一要素である。第二接地面814は、第二セラミック層810の頂部に配置されている。第三セラミック層816は第二接地面814の頂部に配置され、放射素子818は、第三セラミック層816の頂部に配置されている。

【0066】図8において、シールドされた第一同軸伝送ラインは、(i) 第一セラミック層802の一部、(ii) 第一接地面808及び第二接地面814、(iii) 第二セラミック層810及び第三セラミック層816の両方を通して伸び、第一供給素子806を放射素子818に結合する。同様に、シールドされた第二同軸伝送ラインは、(i) 第二セラミック層810、(ii) 第二接地面814、(iii) 第三セラミック層816を通して伸び、第二供給素子を放射素子818に結合する。

【0067】図8のアンテナにおいて、シールドされた第一同軸伝送ライン及び第二同軸伝送ラインの各々は、導電性バイアと、内部導体820を囲む中空バイアという形式で、同軸内部導体820により画成されている。各同軸伝送ラインにおいて、同軸シールド822は、中空バイアの回りで構成され、中空バイアによって同軸内部導体820から間隔を開けて配置されている。図7A、図7Bを参照して説明されたような、同軸伝送ラインの他の形式が使用され、所望の接続を行うことも可能である。

【0068】図8の二重位相アレイアンテナが動作中のとき、第一分極を有する第一信号は、第一セラミック層802を通して伝搬する。このように、第一セラミック層802は、第一供給レベルとしての機能を果たす。同様に、第二分極を有する第二信号は、第二セラミック層が第二供給レベルとしての機能を果たすように、第二セラミック層810を通して伝搬する。第一接地面808は、第一供給レベル及び第二供給レベルを互いに隔離する。

【0069】放射素子818は、前述した方法で、同軸伝送ラインを介して両方の供給レベルに結合されるので、放射素子818は、それぞれの同軸接続を介して、第二信号及び第二分極と同様に、第一信号及び第一分極の両方を傍受する。

【0070】一例において、第一分極が実質的に垂直方向であり、第二分極が実質的に水平である場合、両方の垂直及び水平分極は、各々の同軸伝送ラインを介して放射素子818bに提供される。このように、放射素子818により生成された信号の極性は、第一信号及び第二信号のそれぞれの大きさを制御することにより制御することが可能である。

【0071】図8の構成は単に二つの供給レベルを示すだけであるが、複数位相アレイアンテナは同様に設計される可能性があることが意図されている。例えば、埋め込まれた供給素子を有する付随的なセラミック層は、第三セラミック層816及びアンテナ800の放射素子818間に積むことができた。接地面は、いろいろなセラミック層間に介在され、供給レベル間に、図8の二重位相アレイアンテナ800における既存アレンジメントに類似したシールドを与える。この方法で形成された二重位相または多重位相アレイアンテナは、放射素子の励起を最大にすることに加えて、いろいろな供給レベル間の交叉結合を最小限にする。

【0072】本発明のよる、LTCC-M構造で作られた指向可能な(Steerable)アンテナは、いろいろな周波数、分極、空間アロケーションで動作する通信サービスと呼び出すこと(addressing)が可能である。これらの指向可能アンテナの設計費用を下げる為、マイクロ加工された電子機械のミニチュアスイッチ(MEMS)が、顕著な特性を備えた様々な信号にアクセス又は提供する為に使用されてもよい。特に、MEMSは、低コストの位相シフターを作り、位相アレイアンテナの所望の指向性を達成する為に用いることができる。

【0073】LTCC-M環境においてマイクロ加工電子機械スイッチを作る方法は、図9A～図9Dを参照して、以下に説明する。例示的实施例では、これらのスイッチの複数は、両側LTCC-M構造の片側に搭載することが可能であり、制御回路は別の側に搭載することが可能である。例えば、図1のLTCC-M構造の中で構成される場合、複数のマイクロ加工スイッチは、構造の高周波側110に形成され、(i) 別個の位相を有する信号源、(ii) 放射素子114の間で結合される。そのようなアンテナ構造は、マイクロ加工されたスイッチが異なる極性の間で容易な切替を提供するという点で、指向性を有することは簡単であろう。

【0074】図9Aの構造は、金属ベース層902に形成される。第一セラミック層904は、金属ベース層902の頂部に積まれる。静電力を及ぼすことができる励振パッド906は、セラミック層904の頂部に堆積さ

れる。

【0075】図9Bにおいて、第一セラミック層904より薄い方が好ましい、第二セラミック層908は、第一セラミック層904及び励振パッド906の頂部に積まれる。第一金属部材910及び第二金属部材912は、第二セラミック層908の頂部に堆積される。例えば、金属部材910、912は、プリントされた伝送ラインの要素であってもよい。図11Bで図示されるように、第一金属部材910、第二金属部材912は、離れて置かれ、第二金属部材912の一端914は、励振パッド906のすぐ上方に置かれている。第一金属部材910は可動電極のベースを画成し、第二金属部材912はスイッチ用固定電極を画成する。

【0076】図9Cにおいて、同様に第一セラミック層904より薄い方が好ましい第三セラミック層916は、金属部材910、912で覆われない第二セラミック層908の位置と同様に、第二部材912及び第一部材910の頂部に積まれている。キャビティ918は、第三セラミック層916内に形成され、第一金属部材910の先端920は、第二セラミック層908と第三セラミック層916との間から突き出ており、キャビティ918内に延びている。また、第二金属部材912の端部914が、第二セラミック層908と第三セラミック層916との間から突き出て、第一金属部材910先端920の反対側のキャビティ918内に延びるような、キャビティ918の配置になっている。キャビティ918は、第三セラミック層916内で穿孔されるかエッチングされてもよいが、穿孔が安い選択肢として一般的には好ましい。

【0077】図9Cにおいて、導電性素子922は、キャビティ918の一つの壁に沿って垂直に堆積され、第一金属部材910の先端から第三セラミック層916の頂部まで延びている。第一金属部材910と垂直導電性素子922は、ベース部及び起立部をそれぞれ画成し、本発明の一実施例に従って、マイクロ加工スイッチの可動電極924を搭載する。導電性素子922は、容易かつ簡単に、LTCC-Mボード内に形成できる。発明の例示的实施例において、可動電極924は、マイラーのような柔らかい導体であり、LTCC-M構造体が燃やされた後、起立部922上に搭載される。

【0078】完全なマイクロ加工スイッチ900が図9Dに示されているが、ここで、可動電極924は第二金属部材912との選択的な係合の為に搭載されている。可動電極924の先端926は、第一金属部材910の反対側にある導電素子922の一端に固定されている。

可動電極924の残りの部分は、キャビティ918内に実質的には水平に伸び、その中で自由に揺れる。図9Dで図示されたように形成されたボール928は、実質的に電圧が励振パッド906が印加されない場合、電極924の可動部が接触するように堆積される。電圧が

励振パッド 906 に印加されるとき、静電力は、ボール 928 から離れて、第二金属部材 912 の端部 914 に向かって電極 924 の可動部を引っ張り、それと接触させる。30 ボルトから 40 ボルトの範囲の静電圧は、望ましくは、励振パッド 906 に印加されてボール 928 及び第二基板 912 間の一貫した切替を達成する。

【0079】図 9D において、LTCC-M 構造内の多層のため、スイッチ 900 の固定及び可動電極は、互いに絶縁されている。異なる層上に構成されているので、励振も絶縁されており、短絡回路保護を確実にしている。

【0080】スイッチ 900 のような MEMS は、吊された片持梁アームを用いた半絶縁性 GaAs 基板とアルミナの両方の上で設計され、作製されてきた。これらのスイッチは、DC からマイクロ波周波数に切り替える良好な開閉性能を示し、すばらしい絶縁性と、最小限の挿入損失を提供する。それに加えて、本発明に従って構成された MEMS は、たいいていの適用に十分な数ミリ秒のオーダーで、切り替え速度を容易に提供する。

【0081】位相アレイアンテナを用いた所望の広帯域指向性を達成するには、複数の位相シフトユニットを有する位相アレイネットワークを含むようにアンテナを設計するのが有利である。図 9A から図 9D を参照して前述した MEMS のようなスイッチは、これら位相シフター適用において基本ビルディングブロックとして使用してもよい。

【0082】図 10 は、本発明の例示的实施例に従って、両面 LTCC-M 構造内に形成された位相アレイアンテナ 1000 の側面図である。アンテナ 1000 は、金属コア層 1004 の片側に搭載された第一セラミック層 1001 と、金属コア層 1004 の反対側に搭載された第二セラミック層 1002 とを含む。第一セラミック層 1001 は、比較的に低い誘電率を有するのが好ましいが、第二セラミック層 1002 は、比較的に高い誘電率を有するのが好ましい。

【0083】複数の放射素子 1008 は、第一層 1001 に搭載されている。図 9D で説明された MEMS のような複数のスイッチ 1010 は、第二セラミック層 1002 に埋め込まれている。また、第二セラミック層 1002 内に埋め込まれているのは、位相シフター 1012 であり、これらは、スイッチ 1010 に接続されている。他の回路素子（受動および能動の両方）は、所望の実施に従い、第二セラミック層 1002 内に埋め込まれることが可能である。

【0084】図 10 において、配電網 1014 は、第二セラミック層 1002 上に搭載されている。配電網 1014 内の選択された供給構造は、金属コア層 1004 を通って給電する複数の導電性バイア 1016 を介して放射素子 1008 に結合されている。配電網 1014 は、高周波（例えば RF、マイクロ波、その他）又は比較的低い周波数信号を通過させてもよい。いろいろな位相

シフター 1012 は、いろいろな分極を持つように、これらの信号を直し、スイッチ 1010 は選択的に作動され、これら直された信号を導電性バイア 1016 を介して放射素子 1008 に渡す。

【0085】図 11A 及び図 11B は、本発明の例示的实施例に従って、アンテナで使用されたスイッチと位相シフターとの間の可能な接続を図示する回路図である。図 11A では、例えば上記図 9D で説明されたスイッチ 900 のように構成されたスイッチ 1100 は、ボール 1102、ボール 1104 の間でトグルになっている。スイッチ 1100 がボール 1102 に接触するとき、配電網内で供給構造により提供された信号のような入力信号 1106 をスイッチ 1100 が直接通過させる。入力信号 1106 は、スイッチ 1100 を通過する前および外部回路に着く前に位相シフター 1108 を通過しなければならないので、スイッチ 1100 がボール 1104 に接触するときスイッチ 1100 は位相遅れ入力信号 1106 を通過させる。

【0086】図 11B は、4 つの可能な分極 01、02、03、04 を有する信号で広帯域アンテナを駆動する為に複数の位相シフターを用いた 2 段階スイッチアレンジメントを図示する。位相シフター 1114 と位相シフター 1116 との間は第一スイッチがトグルで留めているが、位相シフター 1118 と位相シフター 1120 の間には第二スイッチがトグルで留めている。スイッチ 1110、1112 は、各々が選択的に制御ライン 1122 により起動される。第 3 スwitch 1124 は、制御ライン 1126 によって選択的に起動され、第一スイッチ 1110、1112 により渡された信号間をトグルで留める。

【0087】本発明の例示的实施例によるアンテナの指向性は、一平面か二平面内でもよい。一平面の場合には、位相シフターのたった一つの円柱 (column) が使用されるが、位相シフターの二次元アレイが二平面における指向性のために使用される。これらのアンテナの広帯域指向性は、また、位相シフターの複数アレイを用いる複数平面にて実行してもよい。

【0088】本願で一定の特定実施例を参照して図示及び説明されたが、本発明は、これらに限定されるものではない。むしろ、いろいろな変形が、請求の範囲の均等物の範囲内で、本発明から逸脱することなく、詳細になされてもよい。

【図面の簡単な説明】

【図 1】図 1 は、本発明の典型的な実施例に従って、LTCC-M 構造を使って実行されるアレイアンテナ 100 の横断面図である。

【図 2】図 2A は、本発明の典型的な実施例に従って、LTCC-M 構造で一体化のために集中電力分割器または結合器として構成される導波管 200 の等角投影図である。図 2B は、線 2A-2A' に沿って導波管 200 の一端からの

図2Aにおける導波管200の側面図である。図2Cは、線2B-2Bに沿って図2Aに示された導波管の側面図である。

【図3】図3は、本発明の例示的实施例により、LTCC-M構造を使用して形成された平面アンテナの側断面図である。

【図4】図4は、本発明の例示的实施例により構成され、LTCC-M構造を用いて形成された平面アンテナの側断面図である。

【図5】図5は、本発明の例示的实施例による、両面LTCC-M構造内で形成された平面アンテナ500の側断面図である。

【図6】図6は、本発明の例示的实施例による、LTCC-M構造を用いて形成され、双極で動作可能なアンテナ600の側断面図である。

【図7】図7Aは、本発明の例示的实施例による、LTCC-

M環境内で形成された同軸伝送ライン700の側断面図である。図7Bは、線7B-7Bに沿って切断された同軸伝送700の断面端部を示す。

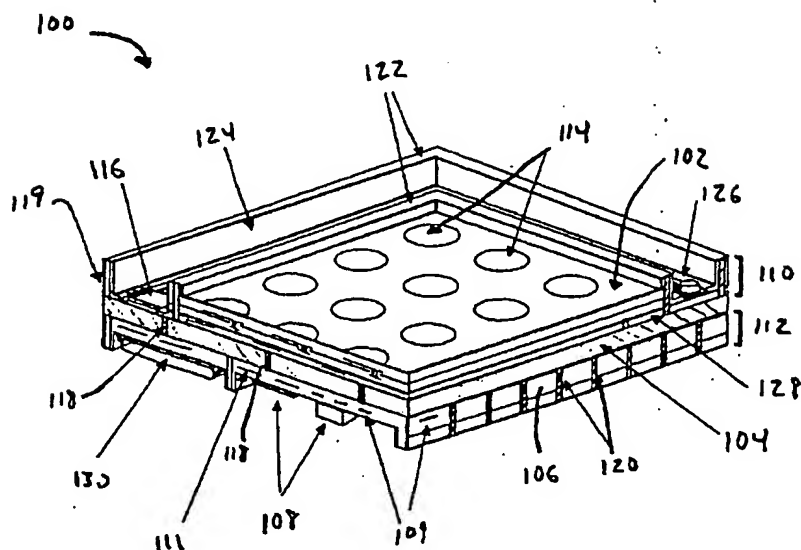
【図8】図8は、本発明の例示的实施例による、同軸伝送ラインを用いて形成された二重位相アレイアンテナ800の側断面図である。

【図9】図9A-9Dは、本発明の例示的实施例による、LTCC-M構造の側断面図であり、内部にマイクロに機械加工された電子機械スイッチを示す。

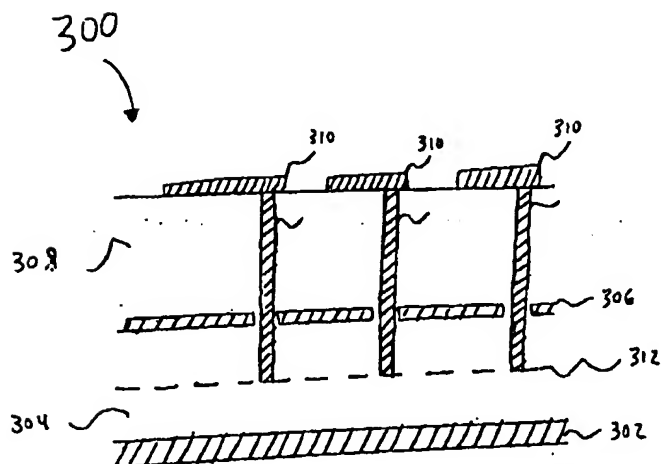
【図10】図10は、本発明の例示的实施例による、両面LTCC-M構造内に形成された位相アレイアンテナ1000の側断面図であり、スイッチと位相シフターを含む。

【図11】図11A及び図11Bは、位相シフター及びスイッチを示し、これらの接続は、本発明による位相アレイアンテナを構成するのに使用されてもよい。

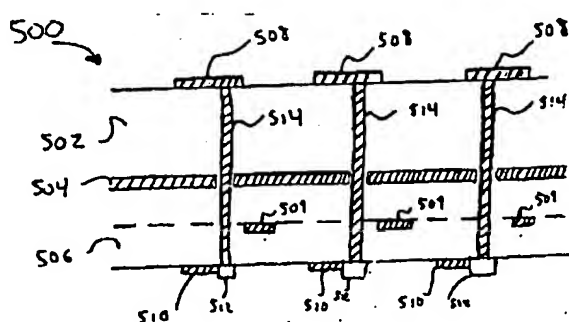
【図1】



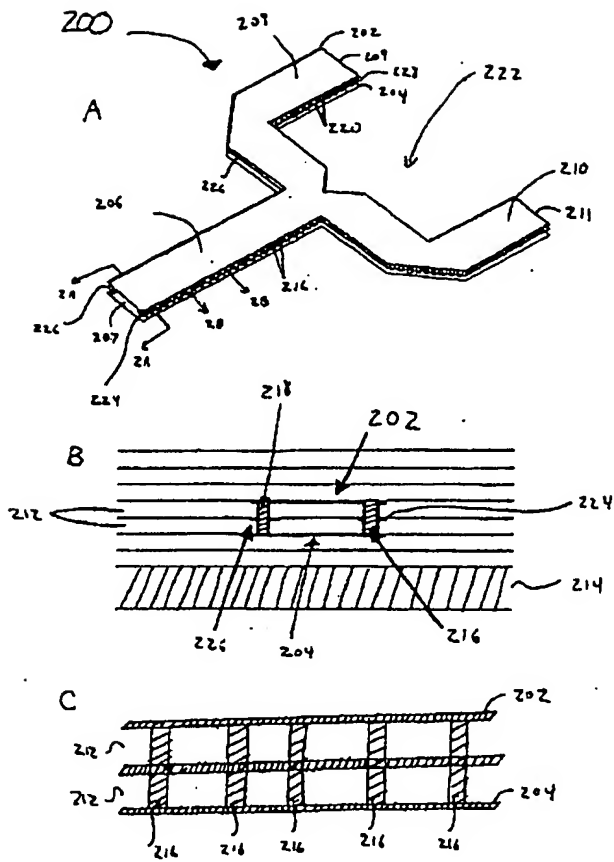
【図3】



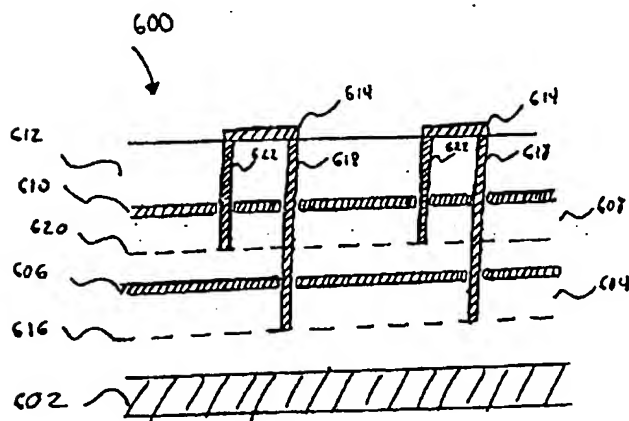
【図5】



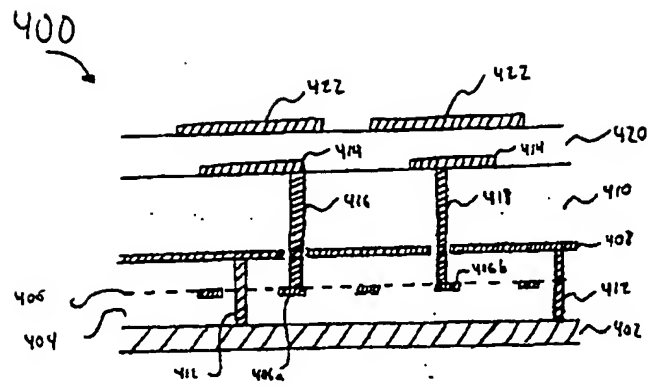
【圖2】



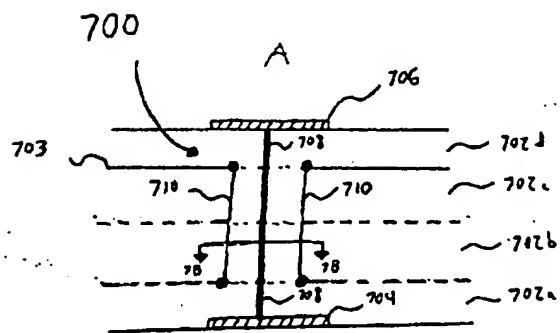
【圖6】



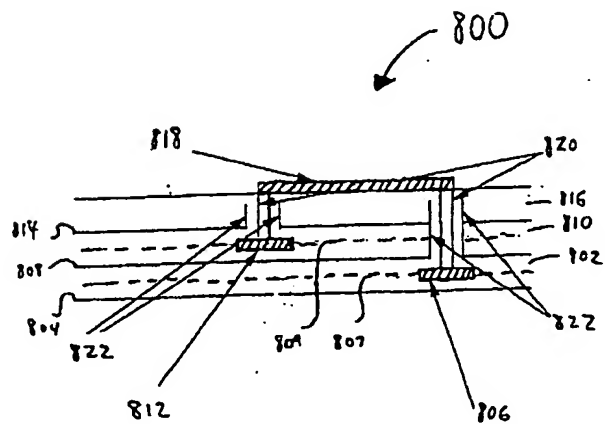
【圖4】



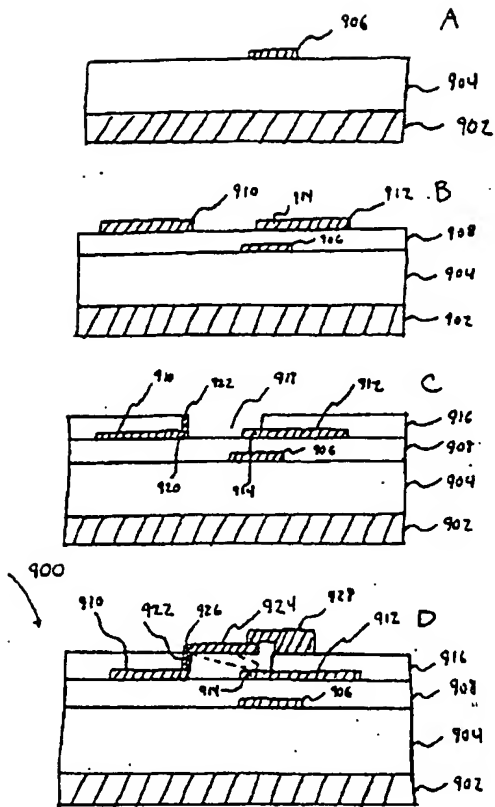
【圖7】



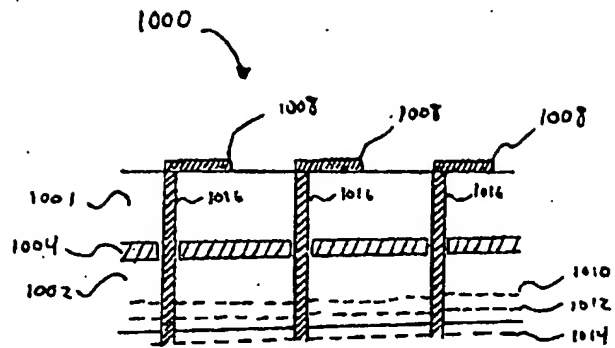
【圖8】



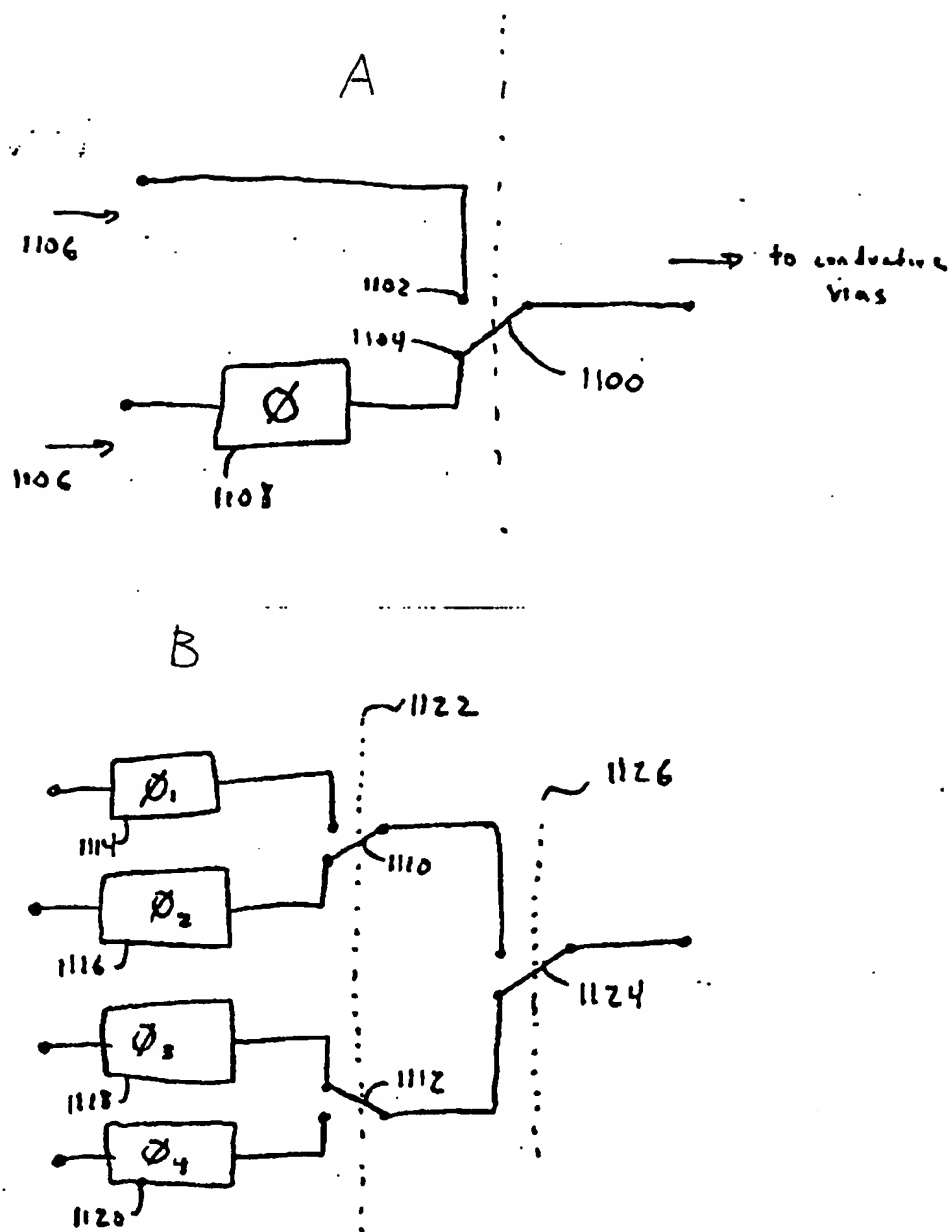
【図9】



【図10】



【図11】



フロントページの続き

(72)発明者 バーナード ダヴ ゲラー
アメリカ合衆国、ニュー ジャージー
州、プリンストン、ケンジントン コ
ート 11

(72)発明者 スチュワート マーク バローウ
アメリカ合衆国、ニュー ジャージー
州、マールボロ、ロートン ロード
4

(72)発明者 アリー ローズン
アメリカ合衆国、ニュー ジャージー
州、チェリー ヒル、ハートウッド
ロード 508

【外国語明細書】

1 Title of Invention

ANTENNAS FORMED USING MULTILAYER CERAMIC SUBSTRATES

2 Claims

What is Claimed is:

1. An array antenna comprising:

a first ceramic layer and a second ceramic layer;

a metal layer disposed between the first and second ceramic layers;

a plurality of radiating elements mounted on the first ceramic layer; and

a plurality of control circuits mounted on the second ceramic layer and coupled to the radiating elements through a plurality of conductive vias which feed through the metal layer.

2. A waveguide formed within a plurality of ceramic layers stacked on top of a metal layer comprising:

a top metal wall disposed between one pair of the ceramic layers;

a bottom metal wall disposed between another pair of the ceramic layers;

a first sidewall defined by first conductive vias extending through ones of the ceramic layers between the top metal wall and the bottom metal wall to connect a first side of the top metal wall to a first side of the bottom metal wall; and

a second sidewall defined by second conductive vias extending through ones of the ceramic layers between the top metal wall and the bottom metal wall to connect a second side of the top metal wall to a second side of the bottom metal wall.

3. An antenna comprising:

a first ceramic layer and a second ceramic layer;

a metal layer disposed between the first and second ceramic layers;

a plurality of radiating elements mounted on the first ceramic layer;

a plurality of control circuits mounted on the second ceramic layer and coupled to the radiating elements through a plurality of conductive vias extending through the metal layer; and

a waveguide embedded the first ceramic layer and coupled to the radiating elements through conductive vias extending through the metal layer to route signals to the radiating elements.

4. A waveguide formed within a plurality of ceramic layers for distributing power, the waveguide comprising a rectangular portion formed within ones of the ceramic layers which branches into at least two distinct rectangular portions in the plane of the ceramic layers.

5. An array antenna comprising:

a first ceramic layer having a first feed element embedded therein;

a second ceramic layer having a second feed element embedded therein;

a radiating element disposed proximate the second ceramic layer opposite the first ceramic layer;

a first ground plane disposed between the first and second ceramic layers, and a second ground plane disposed between the second ceramic layer and the radiating element;

a first shielded coaxial transmission line which feeds through the first and the second ground planes to couple the first feed element to the radiating element; and

a second shielded coaxial transmission line which feeds through the second ground plane to couple the second feed element to the radiating element.

6. A switch formed in a plurality of ceramic layers stacked on top of a metal layer comprising:

a first electrode having a first portion disposed between a first pair of the ceramic layers and a second portion extending into a cavity formed in the ceramic layers; and

a second electrode having a fixed portion disposed between a second pair of the ceramic layers and a moveable portion extending into and moveable within the cavity to engage the first electrode.

7. A method of making a switch in a plurality of ceramic layers stacked on top of a metal layer comprising:

depositing a metal layer;

depositing a first ceramic layer on top of the metal layer;

depositing a stimulus pad on top of the first ceramic layer;

depositing a second ceramic layer on top of the stimulus pad and the first ceramic layer;

depositing a first metal patch and a second metal patch on top of the second ceramic layer, the second metal patch being proximate the stimulus pad;

depositing a third ceramic layer atop the first and second metal patches and the second ceramic layer;

forming a cavity in the third ceramic layer such that a portion of the second metal patch extends into the cavity to define a first electrode;

forming a stand which extends vertically from the first metal patch along a wall of the cavity;

attaching one end of a third metal patch to an end of the stand opposite the first metal patch to define a second electrode, the third metal patch being a hinged portion of the second electrode moveable within the cavity to engage the first electrode.

8. An antenna comprising:

a metal base layer;

a first ceramic layer stacked on top of the metal base layer;

a ground plane stacked on top of the first ceramic layer;

a second ceramic layer stacked on top of the ground plane;

a plurality of radiating elements mounted on top of the second ceramic layer;

a third ceramic layer stacked on top of the radiating elements and the second ceramic layer;

a plurality of parasitic radiating elements mounted on top of the third ceramic layer, each parasitic radiating element being proximate to and paired with a respective radiating element such that the pairs are capacitively coupled.

9. A planar antenna comprising:

a metal base layer;

a first ceramic layer disposed on top of the metal base layer;

a first ground plane disposed on top of the first ceramic layer;

a second ceramic layer disposed on top of the ground plane;

a second ground plane disposed on top of the second ceramic layer;

a third ceramic layer disposed on top of the second ground plane;

a plurality of radiating elements mounted on top of the third ceramic layer;

a first distributed network embedded in the first ceramic layer and coupled to the radiating elements through a plurality of vias extending through the first and second ground planes to provide a first signal having a first polarization to the radiating elements; and

a second distributed network embedded in the second ceramic layer and coupled to the radiating elements through a plurality of vias extending through the second ground plane to

provide a second signal having a second polarization to the radiating elements;

whereby a radiated signal provided by the radiating elements may be controlled in polarity by controlling the first and second signals in magnitude.

3 Detailed Description of Invention

This application claims the benefit of U.S. Provisional Application No. 60/095,689 filed August 7, 1998.

FIELD OF THE INVENTION

The present invention relates generally to antennas and, more particularly, to antennas formed using multilayer ceramic substrates.

BACKGROUND OF THE INVENTION

Antennas have become essential components of most modern communications and radar systems. One benefit of these antennas is the ability for their beams to be easily scanned or re-configured, as required by the system. Another benefit of these antennas is their ability to generate more than one beam simultaneously.

As operating frequencies rise, array antennas are desirably constructed as smaller devices. This is because the required spacing between radiating elements within the antenna is typically a function of wavelength. There is a strong technical incentive, therefore, to make these antennas compact.

In modern satellite services, each service generally covers a different frequency range, different polarization, and different space allocations. Consumers are interested in addressing these different services without having to use a different antenna to access each service.

Conventional solutions for designing a single antenna capable of communicating with various services entail the use of expensive phase shifters, typically using Monolithic Microwave Integrated Circuits (MIMIC) circuits. There is, therefore, also a strong commercial incentive,

especially in the newly developing millimeter-wave LMDS and satellite services, to minimize size and cost.

As phased array antennas become smaller, however, it becomes more difficult to generate, distribute, and control the power needed to drive these devices.

In addition to the size constraints imposed on antennas by modern communications systems, higher frequency systems require the development of lower-loss power distribution techniques. Many RF systems operating in the millimeter-wave range, such as vehicular and military radars and various types of communications systems, require the distribution and collection of RF signals with minimal attenuation in order to maintain high efficiency and sensitivity. Conventional power distribution techniques, however, have associated problems which prevent this desired balance between efficiency, sensitivity and attenuation.

Planar antennas have been known to be very difficult to design, as they have historically used EM coupling from a buried feed network to radiating elements mounted on the surface of the antenna. In particular, EM waves are difficult to direct, and energy can leak in various directions, degrading the isolation between the feed network and the radiating elements. This problematic scenario is compounded if multiple signals having different polarizations are fed to the radiating elements, each polarization having its own feed network in a multi-level environment.

SUMMARY OF THE INVENTION

According to one aspect of the present invention, an array antenna includes a first ceramic layer and a second ceramic layer. A metal layer is disposed between the first and second ceramic layers. A plurality of radiating elements are mounted on the first ceramic layer, and a plurality of control circuits are mounted on the second ceramic layer. The

control circuits are coupled to the radiating elements through a plurality of conductive vias which feed through the metal layer or other means.

The metal core layer serves several important functions. The metal core layer provides mechanical strength and structural support. In addition, the metal core layer may provide electrical shielding and grounding. The metal core layer also provides thermal management, as it is essentially a built-in heat sink, for efficient spreading of generated heat.

During firing, the metal core layer provides for minimal shrinkage in the plane of a structure in which the antenna is formed. The metal core layer also provides for confined and well-calculated shrinkage in directions normal to the plane of the structure in which the antenna is formed. The mechanical stability of the ceramic multilayers is maintained throughout processing and allows high density circuits to be screened over large areas of the ceramic with good registration between layers. Vias are precisely located, and conductor patterns with tight tolerances may be formed over a large area board.

According to other aspects of the present invention, the antenna may include a switch having a plurality of poles formed in the second ceramic layer and coupled to one of the radiating elements through one or more conductive vias. In addition, a plurality of phase delay elements may be coupled at a first end to a signal source and coupled at a second end to the respective plurality of poles of the switch. The plurality of phase delay elements may provide respective phase-delayed signals, in which case the switch would be activated to apply a selected one of the phase-delayed signals to the radiating element.

According to another aspect of the present invention, a waveguide is formed within a plurality of ceramic layers stacked on top of a metal layer. The waveguide may be

shaped to branch into at least two portions in the plane of the ceramic layers.

According to another aspect of the present invention, an array antenna includes a first ceramic layer having a first feed element embedded therein, and a second ceramic layer having a second feed element embedded therein. A radiating element is disposed proximate the second ceramic layer opposite the first ceramic layer. A first ground plane is disposed between the first and second ceramic layers, and a second ground plane is disposed between the second ceramic layer and the radiating element. A first shielded coaxial transmission line feeds through the first and the second ground planes to couple the first feed element to the radiating element, and a second shielded coaxial transmission line feeds through the second ground plane to couple the second feed element to the radiating element.

According to another aspect of the present invention, a mechanical switch is formed in a plurality of ceramic layers stacked on top of a metal layer. A first electrode has a first portion disposed between a first pair of ceramic layers, and a second portion extends into a cavity formed in the ceramic layers. A second electrode has a fixed portion disposed between a second pair of the ceramic layers and a moveable portion extending into and moveable within the cavity to engage the first electrode.

According to another aspect of the present invention, an antenna includes a metal base layer, a first ceramic layer disposed on top of the metal base layer, and a first ground plane disposed on top of the first ceramic layer. A second ceramic layer is disposed on top of the ground plane, a second ground plane is disposed on top of the second ceramic layer, and a third ceramic layer is disposed on top of the second ground plane. A plurality of radiating elements are mounted on top of the third ceramic layer. A first distributed network is embedded in the first ceramic layer and

coupled to the radiating elements through a plurality of vias which feed through the first and second ground planes to provide a first signal having a first polarization to the radiating elements. A second distributed network is embedded in the second ceramic layer and coupled to the radiating elements through a plurality of vias which feed through the second ground plane to provide a second signal having a second polarization to the radiating elements. A radiated signal provided by the radiating elements may be controlled in polarity and phase by controlling the first and second signals in magnitude.

The multi-layer capability of antennas constructed according to the present invention allows for design of compact structures, with short lengths between components, resulting in lower losses and better overall performance.

It is to be understood that both the foregoing general description and the following detailed description are exemplary, but are not restrictive, of the invention.

DETAILED DESCRIPTION OF THE INVENTION

It will be appreciated that the following description is intended to describe several embodiments of the invention that are selected for illustration in the drawings. The described embodiments are not intended to limit the invention, which is defined separately in the appended claims. The various drawings are not intended to be to any particular scale or proportion. Indeed, the drawings have been distorted to emphasize features of the invention.

Many problems associated with conventional antennas are avoided using "Low-Temperature Co-fired Ceramic on Metal" (LTCC-M) Technology to form substrates in which the antennas are constructed. A typical LTCC-M structure includes a metal core layer and at least one ceramic layer deposited on one or both sides of the metal core layer.

The metal core layer may be a Cu/Mo/Cu metal composite, because this material provides strong bonding to ceramic layers, although other materials such as titanium can be substituted. Openings or vias are formed in the metal core using a laser or mechanical drilling equipment. Vias in the metal core are preferably deburred and nickel plated.

Ceramic layers deposited on either side of the metal core layer are preferably dielectric glass layers. Typically, at least one dielectric glass layer is formed on both sides of the metal core layer, although a greater or lesser number of glass layers could be formed on either or both sides. The electronic properties of the ceramics and metals are suitable for high frequency operation.

Additional information regarding LTCC-M technology can be found in U.S. Patent 5,277,724, entitled "Method of Minimizing Lateral Shrinkage in a Co-fired Ceramic-on-Metal Circuit Board," which is incorporated herein by reference.

Fig. 1 illustrates an integrated array antenna 100 implemented with an LTCC-M structure, according to an exemplary embodiment of the present invention. Array antenna 100 includes a first ceramic layer 102 mounted on one side of a metal core layer 104, and a second ceramic layer 106 mounted on the opposite side of metal core layer 104. Packaged surface-mount components 130 and 108 are attached to second ceramic layer 106. As indicated above, first ceramic layer 102 and second ceramic layer 106 can each be a single ceramic layer or a stack of ceramic layers.

Relatively higher frequency (e.g., RF) circuitry is preferably mounted on first ceramic layer 102. Circuitry operating at relatively lower frequency signals, such as control circuitry 108, is mounted on second ceramic layer 106. The lower frequency circuitry of array antenna 100 may also include printed passive components 109 conductors 111 embedded in second ceramic layer 106. As such, the relatively high frequency circuitry is segregated to one side 110 of metal core layer 104, while the relatively lower frequency circuitry is segregated to the opposite side 112.

In Fig. 1, a plurality of radiating elements 114 are mounted on the high frequency side 110 of metal core layer 104. Radiating elements 114 are shown in Fig. 1 as substantially circular metal patches, although such radiators may be formed in other shapes or as openings in a conductive sheet, and of other materials, as contemplated within the scope of the present invention. Radiating elements 114 are driven by high frequency signals, such as RF signals provided by high-frequency integrated circuits 116.

In Fig. 1, control circuits 108 are coupled to radiating elements 114 through a plurality of conductive vias 118 which feed through metal core layer 104. Conductive vias 118 are preferably silver-filled, although other conductive materials may be used. Conductive vias 118 route signals and voltages from the low frequency side 112 of the structure to the high frequency side 110. The metal substrate 104 provides shielding between portions of the LTCC-M structure which are desirably isolated from one another.

One or more shielding vias 119 may be formed in first ceramic layer 102 to shield portions of first ceramic layer 102 from one another. By the same token, a plurality of shielding vias 120 may be formed in second ceramic layer 106 to minimize interference between portions of second ceramic layer 106.

Included as part of array antenna 100, a power distribution network (not shown), such as the power divider structure described below with reference to Fig. 2, may be embedded in first ceramic layer 102. The power distribution network may be coupled between a power source and radiating elements 114 through conductive vias, and may distribute power to each radiating element with appropriate amplitude and phase.

In Fig. 1, a pair of shielding walls 122 having metallized surfaces, desirable for attaching a cover (not shown) to high frequency side 110 of array antenna 100, rise from first layer 102 in a direction away from metal core layer 104. Shielding walls 122 define a shielding channel 124, which is electromagnetically isolated from radiating elements 114 by shielding walls 122. Discrete circuit components (both passive and active) may be placed in shielding channel 124 for isolation from radiating elements 114. For example, active components such as the high-frequency integrated circuits 116, various transistors, and other integrated circuits may be seated within shielding channel 124. Passive components such

as a magnet 126 may also be seated within shielding channel 124. Other circuit elements, such as resistors and capacitors, may be mounted on or embedded in other channels or cavities in antenna 100.

Also in Fig. 1, a ferrite layer 128 is disposed between metal core layer 104 and first layer 102 of the ceramic substrate, allowing the realization of components such as circulators and isolators. For example, a circulator may be implemented in microstrip form as a printed resonator with several connected strip lines. One or more magnets 126 may be positioned on either or both sides of the circulator. These magnets could be positioned on the surface of first ceramic layer 102 or in a cavity formed therein. If a plurality of dielectric ceramic layers were formed on high frequency side 110, a ferrite layer could be interspersed between these dielectric ceramic layers.

Features of array antenna 100 include the flexibility of using ceramic layers with high dielectric constants, and the capability of forming MEM (micro-electro-mechanical) components, such as switches. Exemplary micro-electro-mechanical switches are described in greater detail below with reference to Figs. 9A-9D. These switches may be formed, for example, in the second ceramic layer 106 and coupled to one or more of radiating elements 114 through conductive vias. A waveguide may also be formed on high frequency side 110 of array antenna 100, for delivering RF or other high frequency signals to radiating elements 114 with low power loss. An exemplary waveguide in accordance with the present invention is described below with reference to Figs. 2, 2A, and 2B.

One of many applications of array antenna 100 is a unit which provides a transmitter ray and a receiver ray for two-way communications. Typically, the transmitter ray and the receiver array would operate at different frequency bands. Thus, array antenna 100 could be designed to have two sub-

arrays, one to handle the transmitter and one to handle the receiver. Also, wider arrays may be designed by placing multiple LTCC-M boards, such as the antenna of Fig. 1, essentially in a "tile" pattern. Multiple LTCC-M tiles could be combined to create larger antennas if desired. Various boards could have multiple ceramic layers and conductor patterns on either or both sides.

Fig. 2 illustrates an exemplary waveguide 200 formed as a power divider or combiner structure for use in an LTCC-M structure. Waveguide 200 is particularly well-suited for integration with a phased array antenna, such as array antenna 100 of Fig. 1. Launching into the waveguide can be accomplished easily with an integrated E-plane probe.

Waveguide 200 provides low loss high frequency RF power distribution within the LTCC-M structure. Such power distribution with minimal loss is desirable for high frequency technologies such as RF communications systems operating in the millimeter-wave range. Losses in a distribution network are minimized, particularly between the location where such higher frequency signals are generated and where they are radiated. Losses in the waveguide structure of Fig. 2 are primarily ohmic metal losses, rather than losses related to the ceramic filling the structure.

In Fig. 2, waveguide 200 includes a top metal wall 202 and a bottom metal wall 204. Metal walls 202 and 204 are desirably printed between ceramic layers on one side of an LTCC-M structure, such as the high frequency side 110 of array antenna 100, as broad metal strips. Waveguide 200 of Fig. 2 is configured as a power splitter or combiner and has a basic "Y" shape. At one end, the waveguide is in the shape of a single rectangular portion 206. Along the length of waveguide 200, this single rectangular portion branches into at least two distinct rectangular portions 208 and 210.

Waveguide 200 is preferably embedded within one or more ceramic layers. These ceramic layers may be stacked on one side of a metal core layer in an LTCC-M structure configured as an antenna, such as array antenna 100 in Fig. 1. One end of waveguide 200 may be coupled to high frequency circuits 116, while the other end of waveguide 200 is coupled to radiating elements 114 of array antenna 100. In this way, waveguide 200 would be configured to deliver power between the high frequency circuits 116 and radiating elements 114.

Fig. 2A is a side view of waveguide 200 in Fig. 2 from one end 206 of waveguide 200 along lines 2A-2A. In the illustration of Fig. 2A, waveguide 200 is formed within a plurality of ceramic layers 212 stacked on top of a metal base layer 214. If forming waveguide 200 in phased array antenna 100 of Fig. 1, the waveguide may be embedded in one or more ceramic layers on high frequency side 110 of metal core layer 104 and coupled to radiating elements 114 through conductive vias to route signals provided by components 116 mounted in shielding channel 124. Alternatively, apertures in waveguide walls may be used to couple radiating elements 114 to waveguide 200.

Viewing waveguide 200 of Fig. 2 along lines 2B-2B, a first plurality of conductive vias 216, shaped as cylindrical posts, are evenly distributed along at least a portion of the perimeter of the top and bottom metal walls 202 and 204 on the sides of waveguide 200. As shown in Figs. 2A and 2B, each of the conductive vias 216 in the series connects top and bottom metal walls 202 and 204 through any ceramic layers 212 disposed therebetween.

A second plurality of conductive vias 218 are similarly formed on another side of the waveguide, as shown in Fig. 2A, and a third plurality of conductive vias 220 are similarly formed in a recessed portion 222 of the branched region of waveguide 200, as shown in Fig. 2. In this way, a discrete series of disjointed sidewalls are formed about the

perimeter of waveguide 200, less openings 207, 209, and 211 of the waveguide. Sidewall conductive vias 216, 218, and 220, are relatively narrow with respect to broad metal walls 202 and 204, as shown in Fig. 2A.

As illustrated in Figs. 2, 2A, and 2B, a first sidewall conductive strip 224 is interposed between first conductive vias 216, and a second sidewall conductive strip 226 is similarly formed between second conductive vias 218. As shown in Fig. 2, a third sidewall conductive strip 228, shaped for positioning within recessed portion 222 in the branched region 222 of waveguide 200, is interposed between third conductive vias 220 in that region.

In one example of the operation of waveguide 200, current is directed into opening 207 of waveguide 200 in dominant TE_{10} propagation mode. While current flows both in the broad walls 202, 204, and narrow walls of the waveguide (defined by conductive vias 216 and 218), current in the narrow walls of waveguide 200 has only a vertical component. Thus, the electric field traverses vertically between the broad walls of the waveguide. Disjointed conductive vias 216 and 218 allow this vertical current to be maintained.

Fig. 3 illustrates an LTCC-M structure configured as a planar antenna 300. Planar antenna 300 is suitable for integration into low power, high frequency systems such as those found in both military and commercial receiver applications.

Planar antenna 300 has multiple layers, including a metal base layer 302. A first ceramic layer 304 is stacked on top of metal base layer 302, a ground plane 306 is stacked on top of first ceramic layer 304, and a second ceramic layer 308 is stacked on top of ground plane 306. A plurality of radiating elements 310 are mounted on top of second ceramic layer 308. If the planar antenna of Fig. 5 were formed in an LTCC-M structure such as that of Fig. 1, metal base layer 302

may correspond to metal core layer 104, and the additional ceramic layers, ground plane 306 and radiating elements 310 may all be stacked on high-frequency side 110 of the LTCC-M structure.

In Fig. 3, a distributed network 312 is embedded in first ceramic layer 304 and coupled to radiating elements 310 through a plurality of conductive vias 314 which feed through ground plane 306. Distributed network 312 is preferably a high density feed structure, through which signals of various polarizations may be transmitted. Another embodiment of the present invention configured for providing dual polarizations is discussed below with reference to Fig. 6. In Fig. 3, first ceramic layer 304 preferably has a high dielectric constant to facilitate propagation of higher frequency signals through distributed network 312. Second ceramic layer 308 preferably has a relatively low dielectric constant with respect to first ceramic layer 304 to allow for wide bandwidth operation of planar antenna 300.

In Fig. 3, direct connections of distributed network 312 to radiating elements 310 by conductive vias 314, shielded by ground plane 306 or not, is advantageous over conventional planar antennas. Planar antennas formed using LTCC-M technology have wider bandwidth transmission and reception, minimal isolation leaks, if any, less excitation of surface waves, and reduced cost in both design and integration.

Fig. 4 illustrates another configuration of a multi-layer planar antenna 400, formed according to an exemplary embodiment of the present invention. Antenna 400 is a multi-layer structure, similar in some respects to planar antenna 300 of Fig. 3. Planar antenna 400 may be formed, for example, on a single side of an LTCC-M structure, such as high-frequency side 110 of array antenna 100, with a metal base layer 402 corresponding to metal core layer 104 of antenna 100.

In Fig. 4, a first ceramic layer 404 is stacked on top of metal base layer 402, and a distributed network 406, such as a high-density strip-line feed network, is embedded in first ceramic layer 404. A ground plane 408 is printed on top of first ceramic layer 404, and a second ceramic layer 410 is stacked on top of ground plane 408. A plurality of shielding vias 412 are formed in first ceramic layer 404 to isolate portions of distributed network 406 and first ceramic layer 404 from one another. Shielding vias 412 also function to connect ground plane 408 to metal base layer 402, providing a common ground therebetween.

In Fig. 4, a plurality of radiating elements 414 are mounted on top of second ceramic layer 410. Various feed elements 406a and 406b of distributed network 406, are coupled to radiating elements 414 through conductive vias 416 and 418, which extend through ground plane 408. A third ceramic layer 420 is stacked on top of radiating elements 414 and portions of second ceramic layer 410 not covered by radiating elements 414. A plurality of parasitic radiating elements 422 are mounted on top of third ceramic layer 420. Each parasitic radiating element 422 is proximate to and paired with a respective radiating element 414, such that the pairs are capacitively coupled. The parasitic radiating elements 422 function to broaden the bandwidth at which array antenna 400 would otherwise be capable of operating.

Fig. 5 illustrates a planar antenna 500 formed as a double-sided LTCC-M structure, according to an exemplary embodiment of the present invention. Planar antenna 500 includes a first ceramic layer 502 mounted on one side of a metal core layer 504, and a second ceramic layer 506 mounted on an opposite side of metal core layer 504. A plurality of radiating elements 508, preferably printed dipoles, are mounted on first layer 502. A plurality of discrete circuit components 509, such as capacitors and resistors, are embedded in second ceramic layer 506. Other circuit elements, both

passive and active, may be embedded within second ceramic layer 506 as desired.

In Fig. 5, a distribution network 510 is mounted on a surface of second ceramic layer 506, rather than being embedded therein. A plurality of amplifiers 512 are also mounted on this surface of second ceramic layer 506. Each amplifier 512 is coupled between a feed element of distribution network 510 and a radiating element 518 through a conductive via 514 which feeds through metal core layer 504.

Surface distribution network 510 in planar antenna 500 of Fig. 5 may pass high frequency (e.g., RF, microwave, etc.) or relatively low frequency signals. In either case, the amplifiers receive these signals from the feed elements of distribution network 510, translate these signals to higher voltages, and pass the translated signals through conductive vias 514 to radiating elements 518.

Fig. 6 illustrates a dual-polarized radiating antenna 600 formed in an LTCC-M structure, according to an exemplary embodiment of the present invention. Antenna 600 includes a metal base layer 602, which may correspond to metal core layer 104 if antenna 600 were formed in the LTCC-M structure of Fig. 1. A first ceramic layer 604 is disposed on top of metal base layer 602, and a first ground plane 606 is printed on top of first ceramic layer 604. A second ceramic layer 608 is disposed on top of first ground plane 606, and a second ground plane 610 is printed on top of second ceramic layer 608. A third ceramic layer 612 is disposed on top of second ground plane 610, and a plurality of radiating elements 614 are mounted on top of third ceramic layer 612.

In Fig. 6, a first distribution network 616 is embedded in first ceramic layer 604. First distribution network 616 is configured as a strip line feed which is capable of carrying a first signal having a first polarization. At least one of the feed structures of first

distribution network 616 is coupled to radiating elements 614 through conductive vias 618 which pass through first and second ground planes 606, 610. A second distribution network 620 is embedded in second ceramic layer 608. Second distribution network 620 is configured as a strip line feed which is capable of carrying a second signal having a second polarization. At least one of the feed structures of second distribution network 620 is coupled to radiating elements 614 through conductive vias 622 which pass through second ground plane 610.

In Fig. 6, first ground plane 606 provides shielding between first and second ceramic layers 604 and 610, thus preventing first and second signals transmitted therethrough from interfering with one another. Also, second ground plane 610 provides shielding for circuits embedded in the LTCC-M structure below second ground plane 610 from undesirable frequencies or noise possibly created by radiating elements 614.

When the first and second signals are propagating through the first and second ceramic layers 604 and 610, radiating elements 614 essentially "tap" these signals through direct via connections 618 and 622. Thus, one may control the polarity of the cumulative signal provided to radiating elements 614 from both distribution networks 616 and 620, by controlling the respective polarizations and amplitudes of the first and second signals.

Figs. 7A and 7B illustrate a coaxial transmission line 700 formed in an LTCC-M environment, according to one embodiment of the present invention. Specifically, Fig. 7A is a side view of coaxial transmission line 700, while Fig. 7B is an end view of coaxial transmission line 700 taken along lines 7B-7B in Fig. 7A.

Coaxial transmission line 700 is capable of coupling various elements in an LTCC-M structure, possibly

as a substitute for conductive vias in configuration described above. Transmission line 700 is particularly well-suited for interconnecting a radiating element to a feed structure of a distribute network through one or more ceramic layers.

In Fig. 7A, a plurality of ceramic layers 702a-d are stacked on top of a metal pad 704 representing, for instance, a feed structure of a distributed network. A radiating element 706 is mounted on top of ceramic layer 702d. A conductive via is formed through ceramic layers 702a-d, defining an inner conductor 708 of coaxial transmission line 700. Inner conductor 708 extends through ceramic layers 702a-d to couple metal pad 704 to radiating element 706.

In Fig. 7A, a plurality of outer conductive vias extend through ones of ceramic layers 702. As better illustrated in Fig. 7B, this series of outer conductive vias are spaced apart from one another and distributed radially about inner conductor 708. The plurality of outer conductive vias defines a disjointed outer conductor 710 of coaxial transmission line 700. Outer conductor 710 and inner conductor 708 cooperate to provide direct EM coupling between metal pad 704 and radiating element 706.

In forming an LTCC-M structure to include coaxial transmission line 700, a ground plane 703 is desirably printed on top of ceramic layer 702c before layer 702d is stacked on top thereof, to provide a ground for outer conductor 710. Ground plane 703 is positioned to contact each of the outer conductive vias which define outer conductor 710 of transmission line 700, when such conductive vias are formed in the LTCC-M structure. Ground plane 703 preferably does not extend substantially into coaxial transmission line 700 between outer conductor 710 and inner conductor 708 although slight misalignments may occur in manufacturing. Ground plane 703 may also be positioned between ceramic layers 702b and 702c or between layers 702a and 702b to provide the desired ground contact.

The use of LTCC-M technology in constructing antennas provides for smooth and well-matched transitions between different "feed levels" to radiating elements of the antenna. For example, in Fig. 6, each ceramic layer 604 and 608 with its respective embedded distribution network 616 and 620 may represent a different feed level. Because of the shielding provided by ground plane 606, each feed level may pass a distinct signal with minimal interference from other feed levels.

A plurality of feed levels may be directly connected to one or more radiating elements by conductive vias, as in Fig. 6, such that a given radiating element "taps" selected ones of the feed levels to transmit the signals passing through those feed levels. Using conductive vias to make these direct connections is desirable in some applications, as it requires low cost punching, and is simple and easy to design. Alternatively, LTCC-M technology can support shielded coaxial feedthrough, such as that illustrated in Figs. 7A and 7B, to prevent cross-coupling between different feed levels.

Fig. 8 illustrates a dual-phase array antenna 800, constructed in accordance with the present invention. Coaxial transmission lines such as those described above with reference to Figs. 7A and 7B are used to form connections between various layers.

In Fig. 8, antenna 800 includes a first ceramic layer 802 deposited on top of a base ground plane 804. A first feed element 806 of a first distributed network 807 is embedded in ceramic layer 802. A first ground plane 808 is printed on top of first ceramic layer 802. A second ceramic layer 810 is disposed on top of first ground plane 808 and has a second feed element 812 embedded therein. Second feed element 812 is one element of a second distributed network 809. A second ground plane 814 is disposed on top of second ceramic layer 810. A third ceramic layer 816 is disposed on

top of second ground plane 814, and a radiating element 818 is disposed on top of third ceramic layer 816.

In Fig. 8, a first shielded coaxial transmission line extends through: (i) a portion of first ceramic layer 802, (ii) first and second ground planes 808 and 814, and (iii) both second and third ceramic layers 810 and 816, to couple first feed element 806 to radiating element 818. Similarly, a second shielded coaxial transmission line extends through: (i) a portion of second ceramic layer 810, (ii) second ground plane 814, and (iii) third ceramic layer 816, to couple second feed element 812 to radiating element 818.

In the antenna of Fig. 8, each of the first and second shielded coaxial transmission lines are defined by a coaxial inner conductor 820 in the form of a conductive via, and a hollow via which surrounds inner conductor 820. In each coaxial transmission line, a coaxial shield 822 is constructed around the hollow via and spaced apart from coaxial inner conductor 820 by virtue of the hollow via. Other forms of coaxial transmission lines, such as those described with reference to Figs. 7A and 7B, may be used to make the desired connections.

When the dual-phase array antenna of Fig. 8 is in operation, a first signal having a first polarization propagates through first ceramic layer 802. In this way, first ceramic layer 802 functions as a first feed-level. Similarly, a second signal having a second polarization propagates through second ceramic layer 810, such that second ceramic layer 810 functions as a second feed-level. First ground plane 808 isolates the first and second feed levels from one another.

Because radiating element 818 is coupled to both feed levels through the coaxial transmission lines, in the manner described above, radiating element 818 "taps" both the first signal and its first polarization, as well as the second

signal and its second polarization through the respective coaxial connections.

In one example, where the first polarization is substantially vertical, and the second polarization is substantially horizontal, both the vertical and horizontal polarizations are provided to radiating element 818 through the respective coaxial transmission lines. Thus, the polarity of a signal generated by radiating element 818 may be controlled by controlling the respective magnitudes of the first and second signals.

While the configuration of Fig. 8 shows only two feed levels, it is contemplated that a multi-phase array antenna may be similarly designed. For example, additional ceramic layers with embedded feed elements could be stacked between third ceramic layer 816 and radiating element 818 of antenna 800. Ground planes would be interspersed between the various ceramic layers to provide shielding between the feed levels, similar to the existing arrangement in dual-phase array antenna 800 of Fig. 8. Dual-phase or multi-phase array antennas formed in this manner minimize cross-coupling between the various feed levels, in addition to maximizing excitation of radiating elements.

Steerable antennas made in LTCC-M structures, according to the present invention, are capable of addressing communications services operating at various frequencies, polarizations, and space allocations. To reduce the cost of designing these steerable antennas, micro-machined electro-mechanical miniature switches (MEMS) may be used to access or provide various signals with distinctive characteristics. In particular, MEMS can be used to build low-cost phase shifters to achieve the desired steerability of a phased array antenna.

A method of making a micro-machined electro-mechanical switch in an LTCC-M environment is described herein with reference to Figs. 9A-9D. In an exemplary embodiment, a

plurality of these switches may be mounted on one side of a double-sided LTCC-M structure, while control circuitry may be mounted on the other side. For example, if constructed in the LTCC-M structure of Fig. 1, a plurality of micro-machined switches would be formed on the high frequency side 110 of the structure and coupled between: (i) signal sources having distinctive phases, and (ii) radiating elements 114. Such an antenna construction would be easily "steerable," in that the micro-machined switches would provide easy switching between the different polarities.

The structure of Fig. 9A is formed upon a metal base layer 902. A first ceramic layer 904 is stacked on top of metal base layer 902. A stimulus pad 906, which is capable of exerting an electrostatic force, is deposited on top of ceramic layer 904.

In Fig. 9B, a second ceramic layer 908, preferably thinner than first ceramic layer 904, is stacked on top of stimulus pad 906 and first ceramic layer 904. A first metal member 910 and a second metal member 912 are deposited on top of second ceramic layer 908. Metal members 910 and 912 may be, for example, elements of a printed transmission line. First and second metal members 910 and 912 are spaced apart, as illustrated in Fig. 11B, and one end 914 of second metal member 912 is positioned directly above stimulus pad 906. First metal member 910 defines a base of a moveable electrode, while second metal member 912 defines a fixed electrode for the switch.

In Fig. 9C, a third ceramic layer 916, also preferably thinner than first ceramic layer 904, is stacked on top of first and second members 910 and 912, as well as portions of second ceramic layer 908 not covered by metal members 910 and 912. A cavity 918 is formed in third ceramic layer 916, such that a tip 920 of first metal member 910 juts out from between second and third ceramic layers 908 and 916, and extends into cavity 918. Also, the positioning of cavity

918 is such that end portion 914 of second metal member 912 juts out from between second and third ceramic layers 908 and 916, and extends into cavity 918 opposite tip 920 of first metal member 910. Cavity 918 may be punched or etched in third ceramic layer 916, although punching is generally preferred as the cheaper alternative.

In Fig. 9C, a conductive element 922 is deposited vertically along one wall of cavity 918, extending from tip 920 of first metal member 910 to the top of third ceramic layer 916. First metal member 910 and vertical conductive element 922 define a base and a stand, respectively, for mounting a moveable electrode 924 of a micro-machined switch according to one embodiment of the present invention. Conductive element 922 can be formed simply and easily in LTCC-M boards. In the exemplary embodiment of the invention, movable electrode 924 is a flexible conductor such as mylar and is mounted on the stand 922 after the LTCC-M structure has been fired.

The completed micro-machined switch 900 is shown in Fig. 9D, where moveable electrode 924 is mounted for selective engagement with second metal member 912. A tip 926 of moveable electrode 924 is secured to one end of conductive element 922 opposite first metal member 910. The remainder of moveable electrode 924 extends substantially horizontally into cavity 918 and swings freely therein. A pole 928, shaped as illustrated in Fig. 9D, is deposited such that the moveable portion of electrode 924 is in contact therewith when essentially no voltage is applied to stimulus pad 906. When voltage is applied to stimulus pad 906, an electrostatic force pulls the moveable portion of electrode 924 away from pole 928 and towards end portion 914 of second metal member 912 into contact therewith. An electrostatic voltage in the range of 30-40 volts is desirably applied to stimulus pad 906 to achieve consistent switching between pole 928 and end portion 914 of second substrate 912.

In Fig. 9D, the fixed and moveable electrodes of switch 900 are isolated from one another, due to the multi-layering in the LTCC-M structure. The stimulus is also isolated, as it is constructed on a different layer, to ensure short circuit protection.

MEMS such as switch 900 have been designed and fabricated on both alumina and semi-insulating GaAs substrates using suspended cantilevered arms. These switches demonstrate good switching capabilities from DC to microwave frequencies, provide excellent isolation, and minimal insertion loss. In addition, MEMS constructed in accordance with the present invention can easily provide switching speeds on the order of several milliseconds, which are adequate for most applications.

To achieve the desired wide-band steerability with a phased array antenna, it is advantageous to design the antenna to include a phased array network having a plurality of phase shifting units. Switches such as the MEMS described above with reference to Figs. 9A-9D may be used as basic building blocks in these phase shifter applications.

Fig. 10 is a side view of a phased array antenna 1000 formed in a double-sided LTCC-M structure, according to an exemplary embodiment of the present invention. Antenna 1000 includes a first ceramic layer 1001 mounted on one side of a metal core layer 1004, and a second ceramic layer 1002 mounted on an opposite side of metal core layer 1004. First ceramic layer 1001 preferably has a relatively low dielectric constant, while second ceramic layer 1002 preferably has a relatively high dielectric constant.

A plurality of radiating elements 1008 are mounted on first layer 1001. A plurality of switches 1010, such as the MEMS described in Fig. 9D above, are embedded in second ceramic layer 1002. Also embedded in second ceramic layer 1002 are phase shifters 1012, which are connected to switches

1010. Other circuit elements, both passive and active, may be embedded within second ceramic layer 1002 depending upon the desired implementation.

In Fig. 10, a distribution network 1014 is mounted on a surface of second ceramic layer 1002. Selected feed structures within distribution network 1014 are coupled to radiating elements 1008 through a plurality of conductive vias 1016 which feed through metal core layer 1004. Distribution network 1014 may pass high frequency (e.g., RF, microwave, etc.) or relatively low frequency signals. Various phase shifters 1012 translate these signals to have various polarizations, and switches 1010 are selectively activated to pass these translated signals through conductive vias 1016 to radiating elements 1008.

Figs. 11A and 11B are circuit diagrams illustrating possible connections between phase shifters and switches used in antennas according to exemplary embodiments of the present invention. In Fig. 11A, a switch 1100 configured, for example, as switch 900 described in Fig. 9D above, toggles between poles 1102 and 1104. Switch 1100 passes an input signal 1106, such as a signal provided by feed structures within a distributed network, directly, when switch 1100 contacts pole 1102. When switch 1100 contacts pole 1104, switch 1100 passes a phase-delayed input signal 1106, as input signal 1106 must pass through phase shifter 1108 before passing through switch 1100 and on to external circuitry.

Fig. 11B illustrates a two-stage switching arrangement using a plurality of phase shifters for driving a wideband antenna with signals having four possible polarizations, $\emptyset 1$, $\emptyset 2$, $\emptyset 3$, and $\emptyset 4$. A first switch 1110 toggles between phase shifters 1114 and 1116, while a second switch 1112 toggles between phase shifters 1118 and 1120. Switches 1110 and 1112 are each selectively activated by control line 1122. A third switch 1124 is selectively

activated by control line 1126, and toggles between the signals passed by first switch 1110 and 1112.

Steering of antennas according to exemplary embodiments of the present invention may be in one plane or two planes. In the case of one plane, only one column of phase shifters is used, while a 2-dimensional array of phase shifters would be used for steering in two planes. Wideband steering of these antennas may also be performed in multiple planes using multiple arrays of phase shifters.

Although illustrated and described herein with reference to certain specific embodiments, the present invention is nevertheless not intended to be limited to the details shown. Rather, various modifications may be made in the details within the scope and range of equivalents of the claims and without departing from the invention.

4 Brief Description of Drawings

Fig. 1 is a cross-sectional view of an array antenna 100 implemented using an LTCC-M structure, according to an exemplary embodiment of the present invention.

Fig. 2 is an isometric view of a waveguide 200 constructed as an integrated power divider or combiner for integration with an LTCC-M structure, according to an exemplary embodiment of the present invention.

Fig. 2A is a side view of waveguide 200 in Fig. 2 from one end of waveguide 200 along lines 2A-2A.

Fig. 2B is a side view of waveguide 200 in Fig. 2 along lines 2B-2B, in the same plane but substantially perpendicular with respect to the view along lines 2A-2A.

Fig. 3 is a cross-sectional side view of a planar antenna 300 formed using an LTCC-M structure, according to an exemplary embodiment of the present invention.

Fig. 4 is a cross-sectional side view of a planar antenna 400 formed using an LTCC-M structure, constructed according to an exemplary embodiment of the present invention.

Fig. 5 is a cross-sectional side view of a planar antenna 500 formed in a double-sided LTCC-M structure, according to an exemplary embodiment of the present invention.

Fig. 6 is a cross-sectional side view of an antenna 600 formed using an LTCC-M structure and capable of operating with dual polarizations, according to an exemplary embodiment of the present invention.

Fig. 7A is a cross-sectional side view of a coaxial transmission line 700 formed in an LTCC-M environment, according to an exemplary embodiment of the present invention.

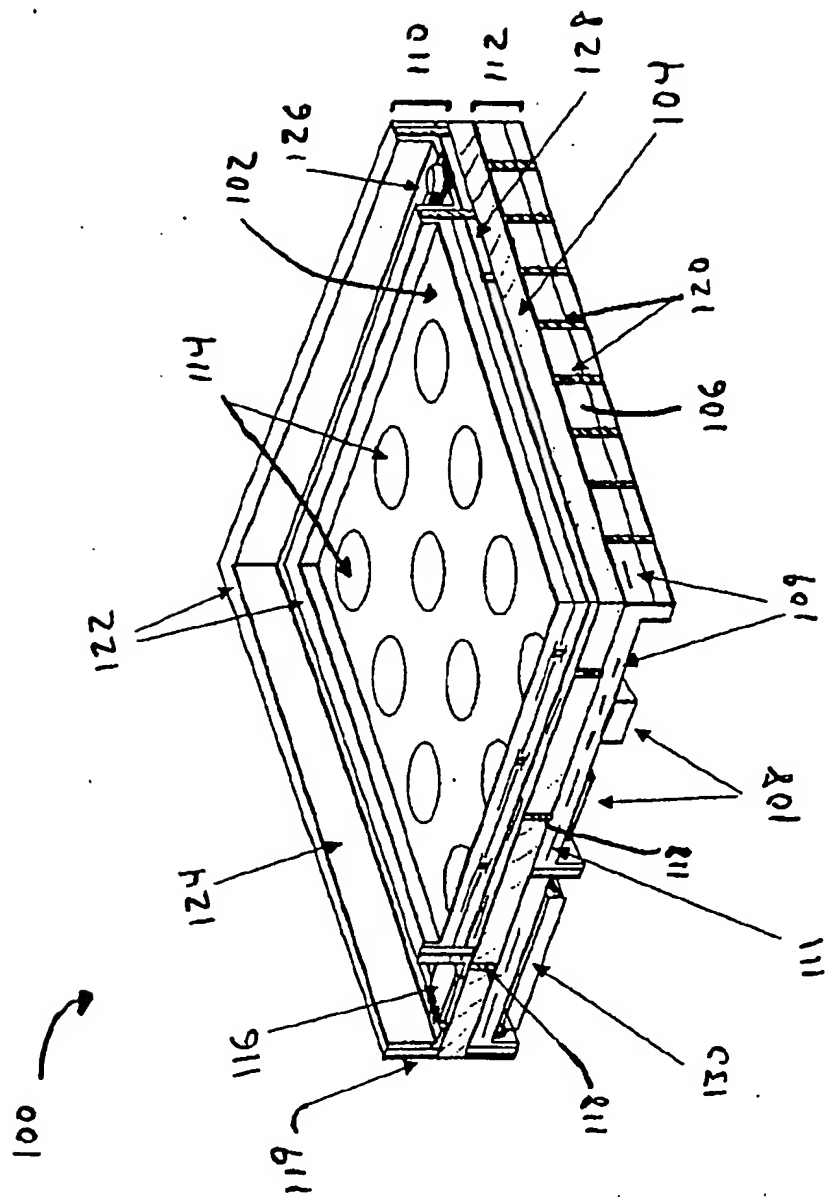
Fig. 7B is a cross-sectional end view of coaxial transmission 700 in Fig. 7A, taken along lines 7B-7B.

Fig. 8 is a cross-sectional side view of a dual-phase array antenna 800 formed with coaxial transmission lines, according to an exemplary embodiment of the present invention.

Figs. 9A-9D are cross-sectional side views of an LTCC-M structure, showing the formation of a micro-machined electro-mechanical switch therein, according to an exemplary embodiment of the present invention.

Fig. 10 is a cross-sectional side view of a phased array antenna 1000 formed in a double-sided LTCC-M structure, including switches and phase shifters, according to an exemplary embodiment of the present invention.

Figs. 11A and 11B are circuit diagrams illustrating phase shifters and switches and connections therebetween which may be used in constructing phased-array antennas according to the present invention.



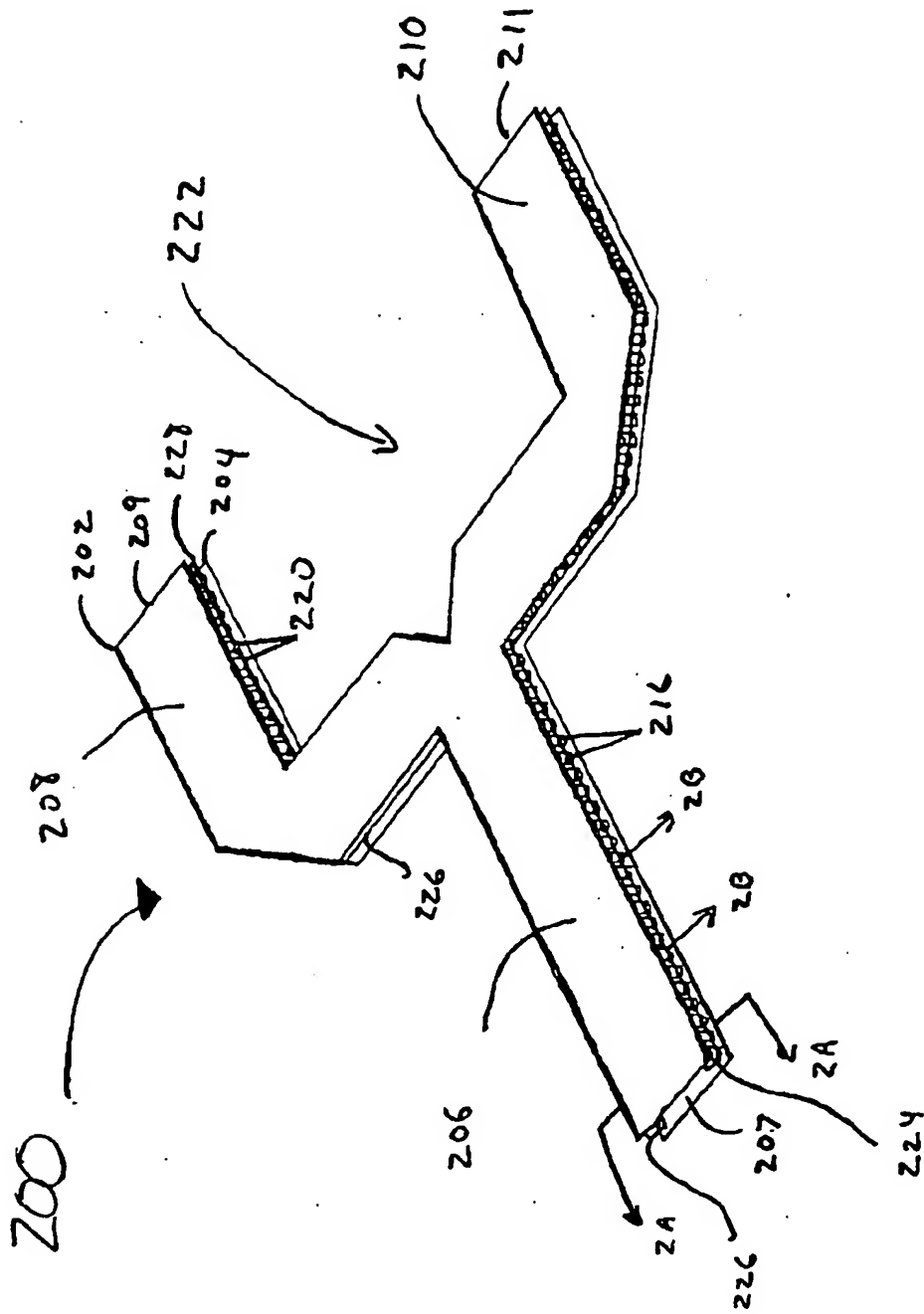


FIG. 2

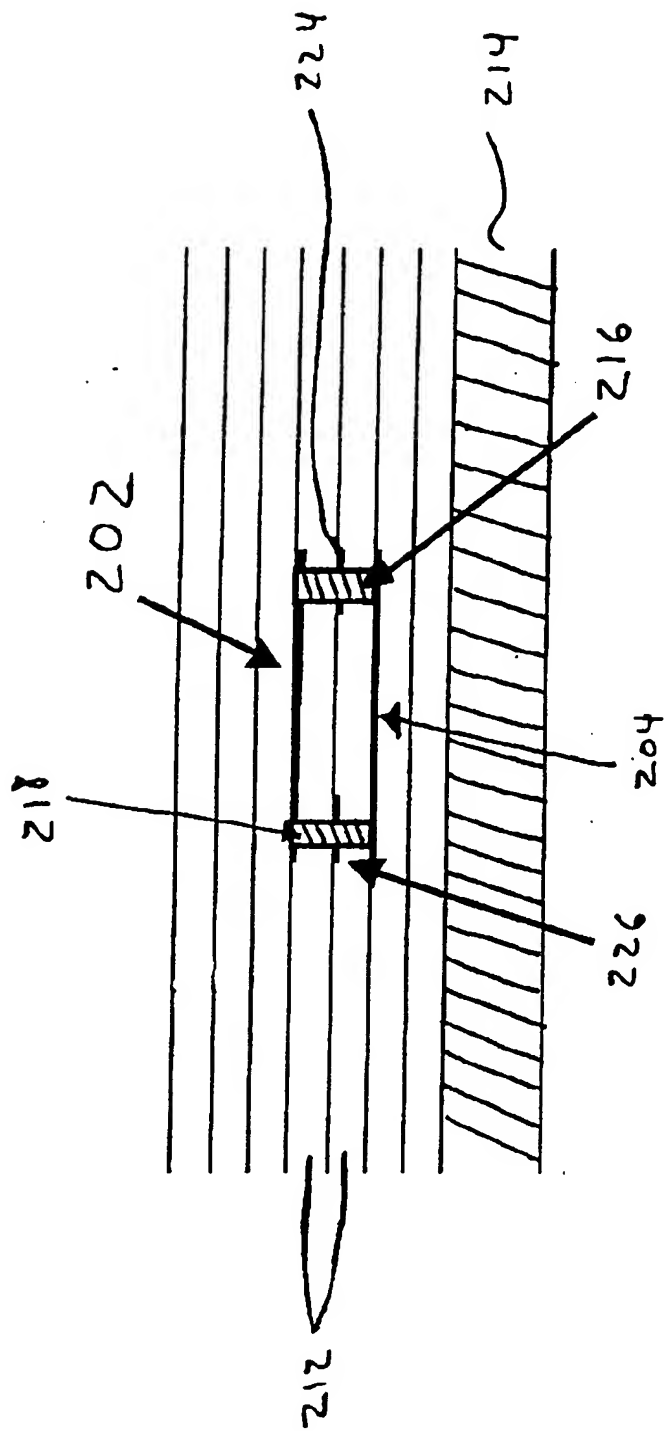


FIG. 2A

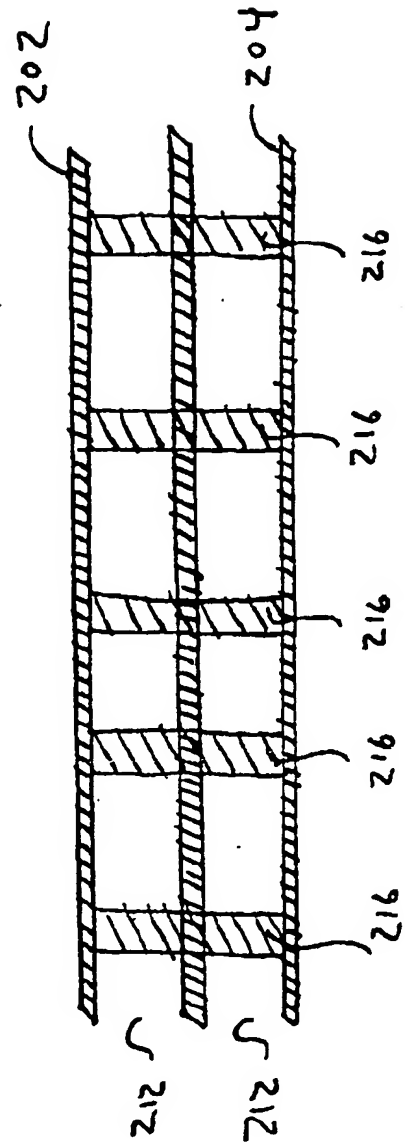


FIG. 2B

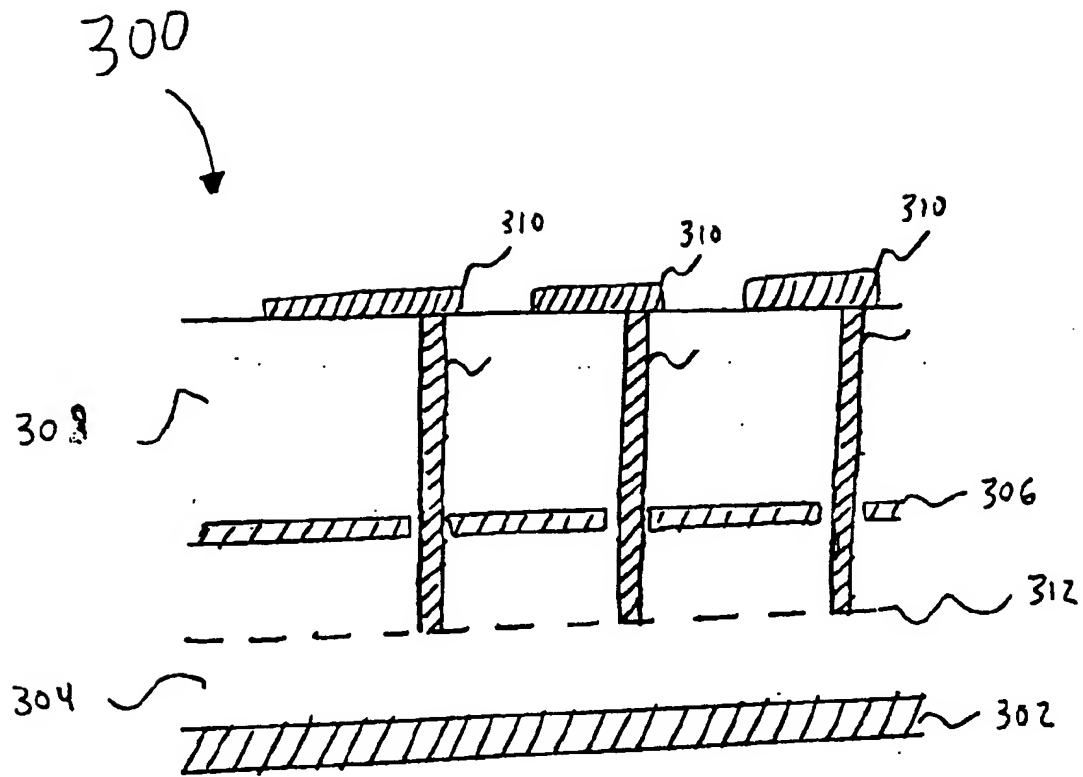


FIG. 3

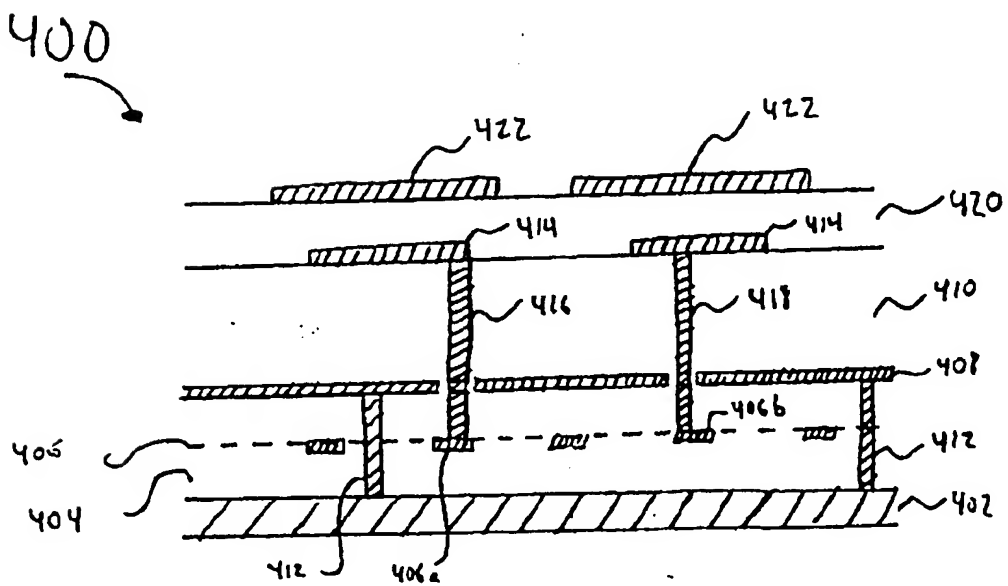


FIG. 4

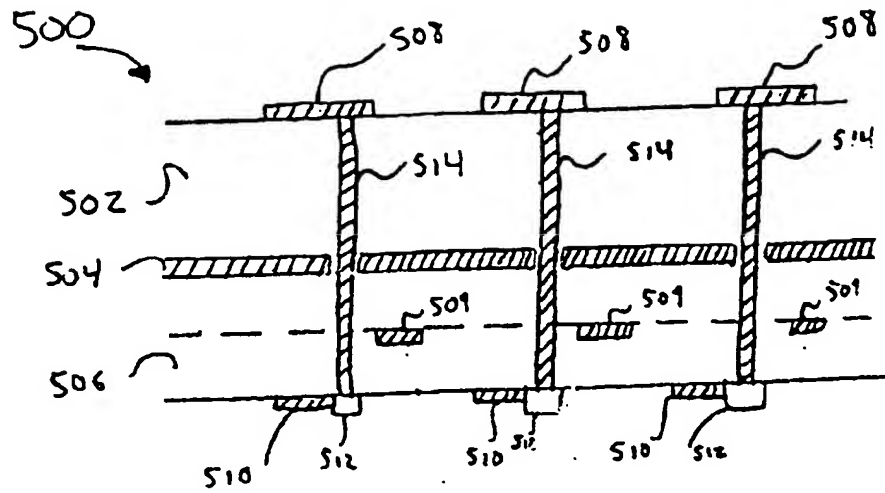


FIG. 5

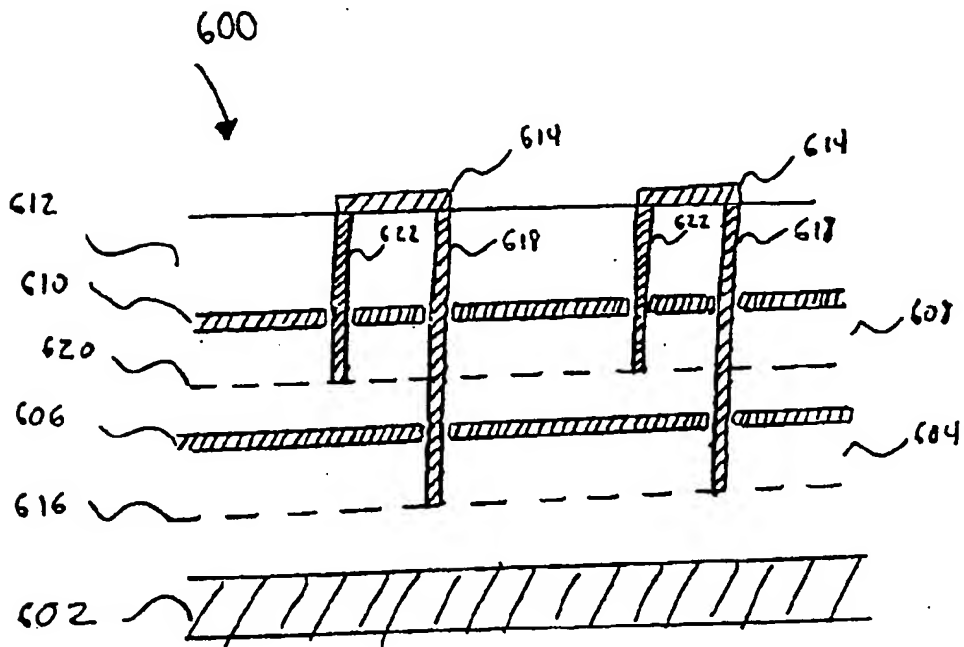


FIG. 6

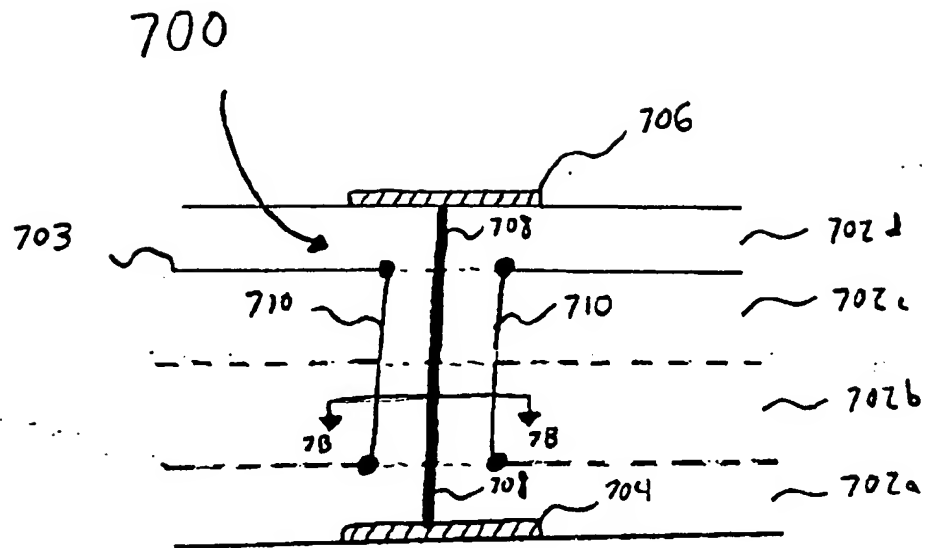


FIG. 7A

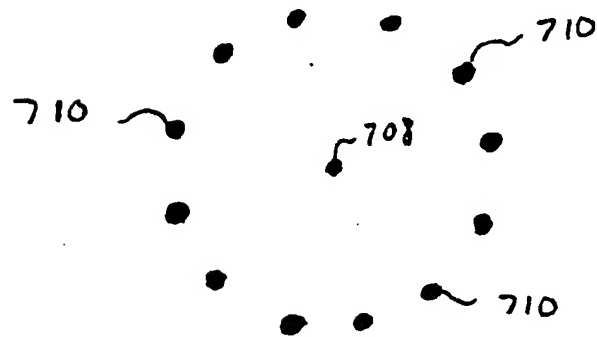


FIG. 7B

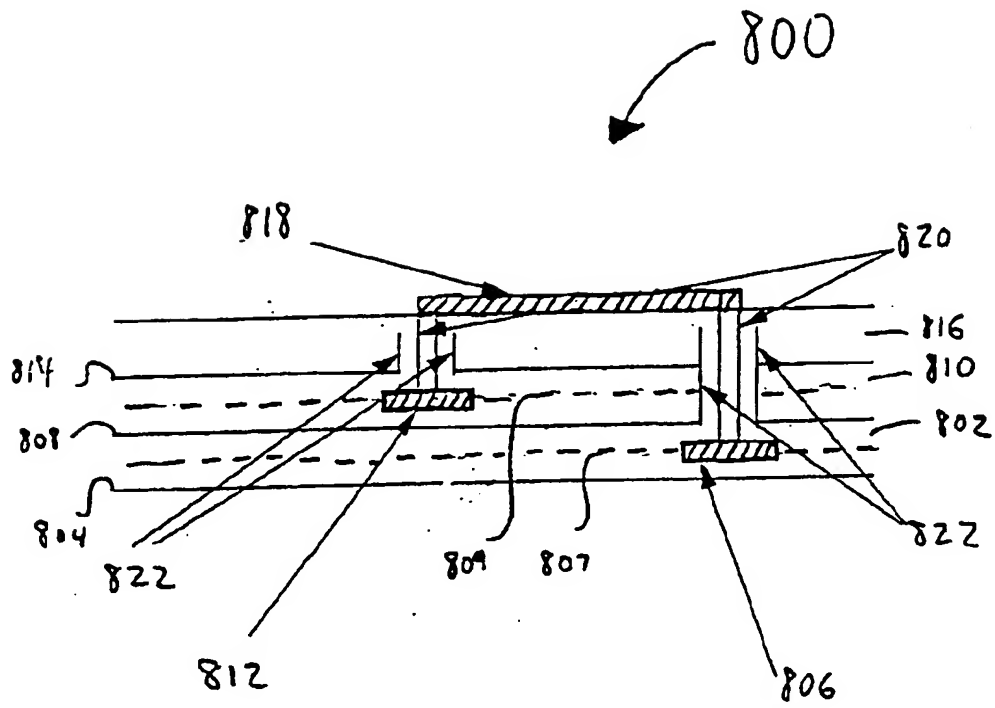


FIG. 8

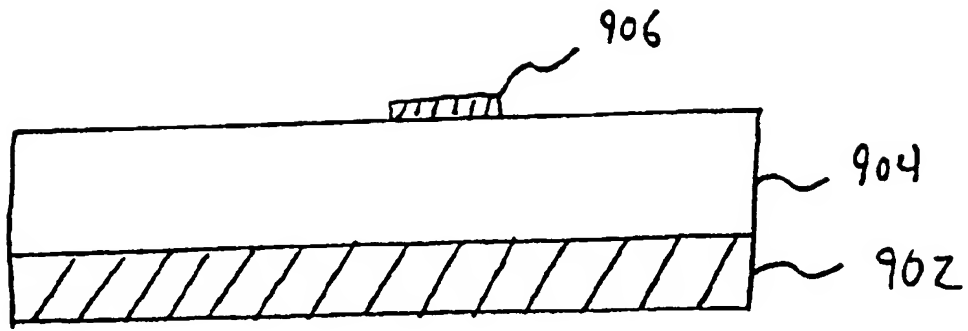


FIG. 9A

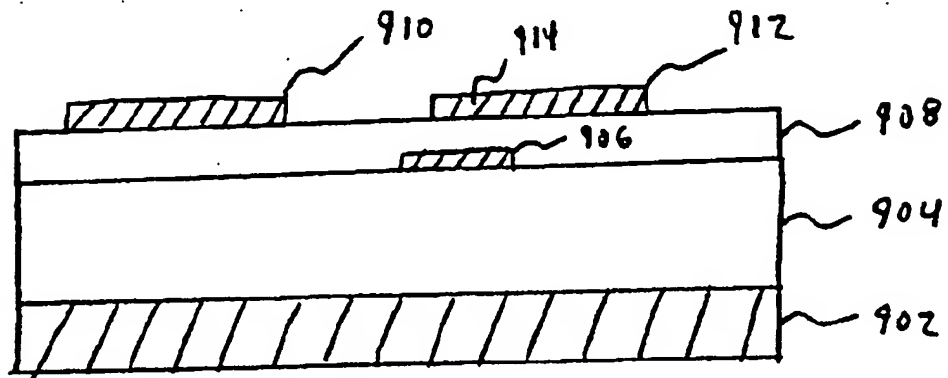


FIG. 9B

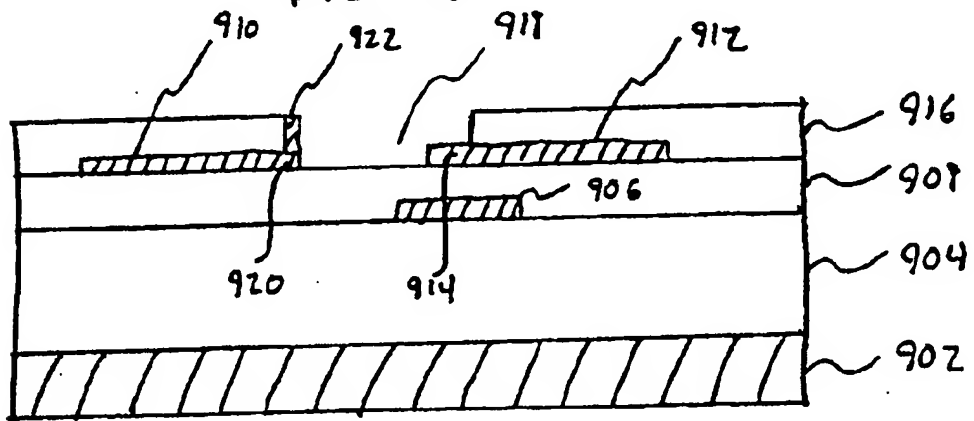


FIG. 9C

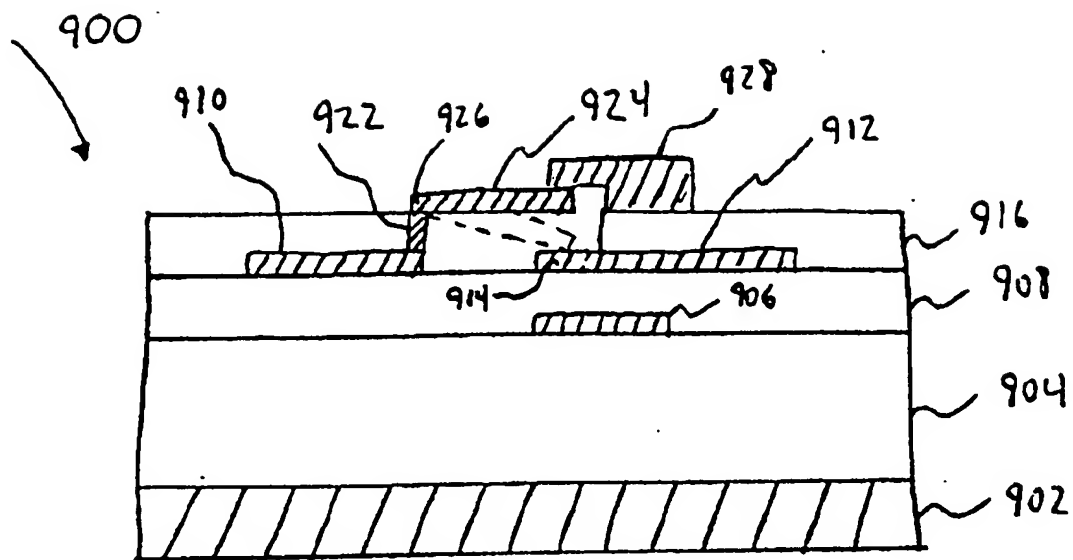


FIG. 9D

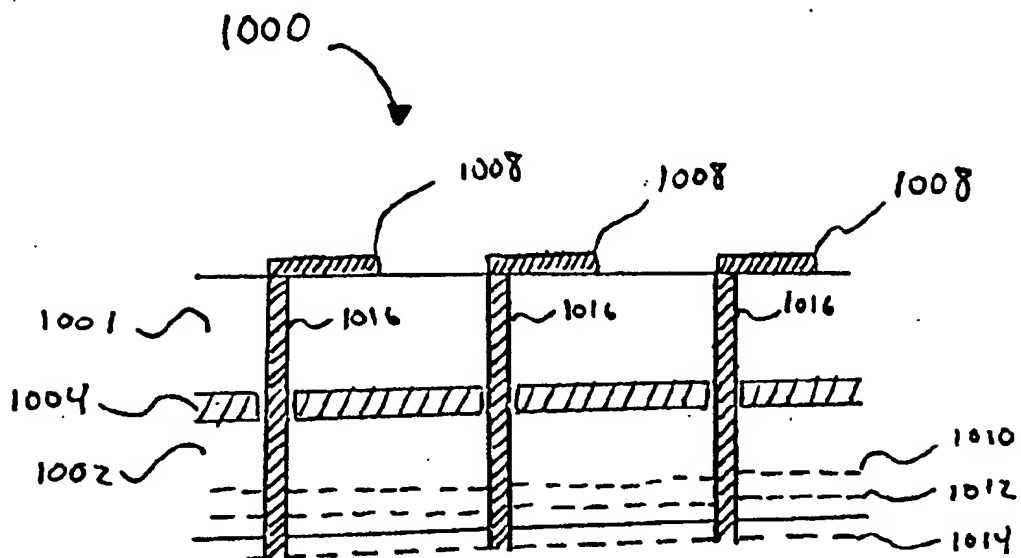


FIG. 10

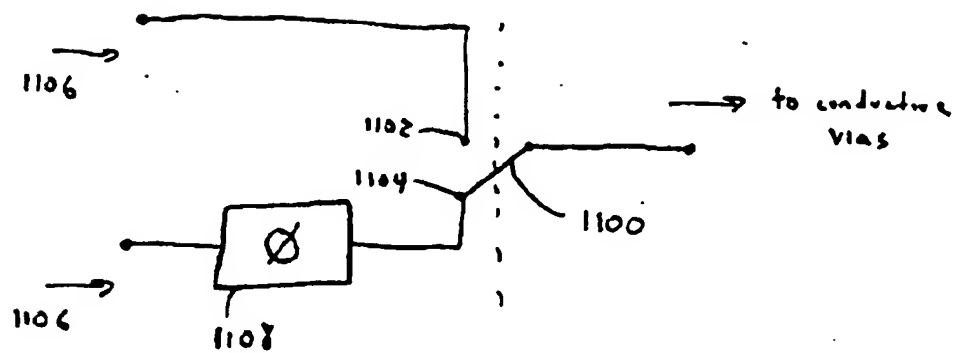


FIG. 11A

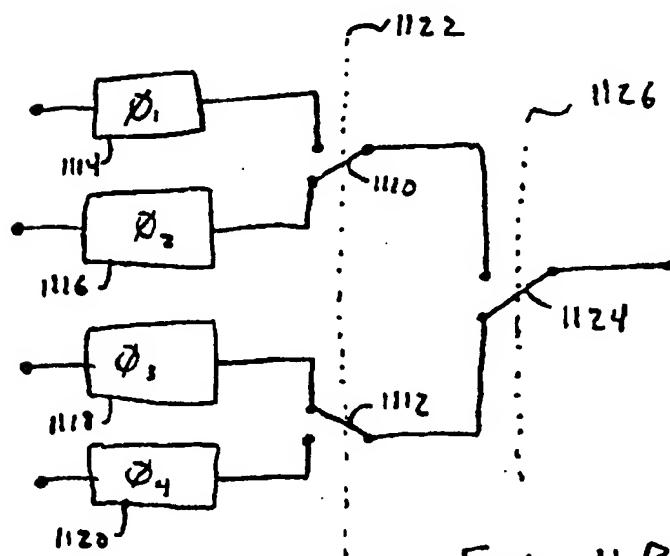


FIG. 11B

I Abstract

An array antenna includes a first ceramic layer and a second ceramic layer. A metal layer is disposed between the first and second ceramic layers. A plurality of radiating elements are mounted on the first ceramic layer, and a plurality of control circuits are mounted on the second ceramic layer. The control circuits are coupled to the radiating elements through a plurality of conductive vias which feed through the metal layer. The array antenna may also include a switch having a plurality of poles formed in the second ceramic layer and coupled to one of the radiating elements through one or more conductive vias. A plurality of phase delay elements may be coupled at a first end to a signal source and coupled at a second end to the respective plurality of poles of the switch to provide phase-delayed signals. A waveguide may also be formed within the ceramic layers. Conductive vias or coaxial transmission lines may be used to connect elements within the array antenna.

2 Representative Drawing Fig. 1